



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

ESCUELA DE POSTGRADO  
FACULTAD DE CIENCIAS

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE  
MASTER EN PROTECCIÓN AMBIENTAL

TEMA

"MANEJO AMBIENTAL DE LOS RESIDUOS  
SÓLIDOS URBANOS DE LA CIUDAD DE GUANO  
PROVINCIA DE CHIMBORAZO 2002"

AUTOR

ING. EDGAR GUILLERMO ROJAS ARÉVALO

TUTOR

DR. FRANCISCO PORTERO G. M.Sc.

Riobamba - 2004

## **DEDICATORIA**

A mis padres Leonidas y María por haberme apoyado en mi formación profesional

A mi esposa Lolita que con sus consejos y sugerencias supo colaborar decididamente para lograr el objetivo propuesto

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar a Dios y a mis padres por haberme dado la vida

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por su apoyo a mi deseo de superación académica

Al Ilustre Municipio del cantón Guano en la persona del Sr. Alcalde Lcdo. Oswaldo Estrada A; al Comisario Sr Carlos Gavilema y al personal que trabaja diariamente en la recolección de basura quienes con su aporte desinteresado contribuyeron a la realización del presente trabajo

Al Dr. M.Sc. Francisco Portero G docente de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH por haber dirigido acertada y científicamente el presente trabajo

## INDICE DE ABREVIATURAS

$A_{\text{máx}}$	Área máxima
$A_{\text{neces}}$	Área necesaria
C	Factor de forma
CL	Contenido de lignina
COT	Carbono orgánico total
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno de 5 días 20 °C
DQO	Demanda química de oxígeno

### **EIA                      Evaluación del Impacto Ambiental**

FB	Fracción biodegradable
ha	hectarias
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
K	Coefficiente de permeabilidad
M	contenido de humedad
m.s.n.m.	metros sobre el nivel del mar
n	Tamaño de la muestra

### **N                      Tamaño de la población**

PE	peso específico
PE-HD	Polietileno de alta densidad
PE-LD	Polietileno de baja densidad
PET	Polietileno tereftalato
PP	Polipropileno
PQ	cuantil de la población
PS	Poliestireno

PVC	Policloruro de vinilo
Q	Caudal
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
S	Concentración de sustrato ( $\text{DBO}_5$ ) en el efluente
$S_0$	concentración de sustrato ( $\text{DBO}_5$ ) en el afluente
ST	Sólidos totales
SV	Sólidos volátiles
$V_{\text{relleno}}$	Volumen relleno
w	Peso inicial de la muestra
	Nivel de significación
$\mu$	viscosidad dinámica del agua
	permeabilidad intrínseca

## INDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

### PÁG.

Fig 1.1. Flujo de materiales y la generación de residuos sólidos	3
<b>Fig 1.2. Vista área de la ciudad de guano</b>	<b>7</b>
Fig 1.3. Municipalidad del cantón Guano	8
Fig 1.4. Recolección de basuras en el mercado municipal	9
Fig 1.5. Botadero de basura a cielo abierto de Guano	10
Fig 1.6. Contaminación del río Guano	12
Fig 1.7. Vista del canal de agua Chambo-Guano	13
Fig 2.1. Esquematzación de un sistema de relleno sanitario	47
Fig 2.2. Valores del término kt de la ecuación de Wenner y Wilhelm	55
Fig 3.1. Vehículo recolector descargando basura en el botadero	84
Fig 3.2. Comportamiento de la cantidades de RSU generados	91
Fig 3.3. Comportamiento del área de relleno requerida anualmente	91
Fig 3.4. Croquis de la ciudad de Guano	97
Fig 3.4.1. Botadero actual	98
Fig 3.8. Ubicación del Relleno Sanitario	112
Fig 3.8.1 Diseño del Relleno Sanitario	113
Fig 3.8.2. Área administrativa del Relleno Sanitario	114
Fig 3.8.3. Levantamiento planimétrico	115

<b>INDICE DE CUADROS</b>	<b>Pág</b>
Cuadro 2.2. Orígenes de los residuos sólidos de la comunidad	20
Cuadro 2.3. Datos típicos sobre PE y contenido de humedad para residuos do mésticos, comerciales, industriales y agrícolas	25
Cuadro 2.4. Distribución porcentual de elementos que componen los RSU	30
Cuadro 2.5. Datos sobre la fracción biodegradable de componentes de residuos orgánicos basándose en el contenido de lignina	33
Cuadro 2.6. Procesos de transformación en la gestión de residuos sólidos	37
Cuadro 2.7. Datos de composición de lixiviados en vertederos nuevos y maduros	51
Cuadro 2.8. Constituyentes típicos en el gas de vertedero de RSU	57
Cuadro 2.9. Distribución de los gases de vertedero durante los primeros 48 meses	62
Cuadro 2.10. Constituyentes orgánicos rápidamente y lentamente biodegradables	63
Cuadro 2.11. Matriz causa-efecto para la evaluación del impacto ambiental	81
Cuadro 3.5.1. Matriz causa-efecto (resultados) de la actual disposición de RSU	100
Cuadro 3.5.2. Matriz causa-efecto (resultados) de la futura disposición de RSU	102

## ÍNDICE

CONTENIDO	PÁG.
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I.-----	1
INTRODUCCIÓN-----	1
JUSTIFICACIÓN-----	11
PROPOSICIÓN DE TRABAJO-----	14
OBJETIVOS-----	15
Objetivo General-----	15
Objetivos específicos-----	15
Hipótesis-----	16
CAPÍTULO II. -----	17
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA-----	17
ORÍGENES, TIPOS Y COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS	
SOLIDOS URBANOS-----	19
Basura doméstica y comercial-----	21
Residuo Peligroso-----	22
Propiedades físicas, químicas y biológicas de los Residuos Sólidos Urbanos	24
Propiedades físicas de los RSU-----	24
Propiedades químicas de los RSU-----	29
Propiedades biológicas de los RSU-----	31
Bioestabilización de la fracción orgánica de los RSU-----	32
Generación de olores-----	33
Reproducción de moscas-----	35
TRANSFORMACIONES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS	
DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS-----	36



TRANSFORMACIONES FÍSICAS-----	38
TRANSFORMACIONES QUÍMICAS-----	40
TRANSFORMACIONES BIOLÓGICAS-----	43
SISTEMA DE RELLENO SANITARIO-----	45
Resumen de la bioquímica del proceso-----	47
Algunas características físicas de los rellenos sanitarios-----	48
Necesidad de área en los rellenos sanitarios-----	48
LIXIVIADOS-----	49
Manejo ambiental de los lixiviados-----	52
GAS DE VERTEDERO-----	55
Composición y características del gas de vertedero-----	56
Constituyentes principales del gas de vertedero-----	56
Generación del gas de vertedero-----	57
Generación de los principales gases del vertedero-----	58
Volumen del gas producido-----	61
Reutilización de los residuos sólidos urbanos-----	63
MARCO LEGAL-----	70
EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL-----	76
CAPÍTULO III-----	83
DESARROLLO EXPERIMENTAL-----	83
Diseño experimental-----	83
Tamaño de la muestra-----	84
Plan de muestreo-----	85

CÁLCULOS DEL RELLENO SANITARIO-----	87
PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS-----	93
Caudal-----	93
Diseño del proceso-----	93
LOCALIZACIÓN DEL BOTADERO ACTUAL A CIELO ABIERTO--	96
EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACTUAL Y FUTURA DISPOSICIÓN DE LOS RSU DE LA CIUDAD DE GUANO	99
Matriz causa-efecto para la evaluación del impacto ambiental de la actual disposición de los desechos sólidos de la ciudad de Guano-----	100
Matriz causa-efecto para la evaluación del impacto ambiental de la futura disposición de los desechos sólidos de la ciudad de Guano-----	102
VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS-----	104
CONCLUSIONES -----	105
PROPUESTA DEL RELLENO SANITARIO A IMPLEMENTARSE----	107
Justificación, objetivo-----	107
Selección del sitio de disposición-----	108
Presupuesto-----	109
Localización-----	110
Ventajas-----	111
Bibliografía-----	117
ANEXOS	

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación trata sobre una propuesta de diseño de relleno sanitario como medio para la realización del manejo ambiental de los residuos sólidos urbanos (RSU) de la ciudad de Guano, provincia de Chimborazo. Actualmente dichos desechos son dispuestos, sin observación de la Norma vigente, a cielo abierto, en un terreno y quebrada ubicados en las afueras de la ciudad, invadiendo las aguas del río Guano. El relleno sanitario diseñado se lo hizo con una vida útil de 18 años, es decir, hasta el año 2020, para lo cual se cuantificó, según un plan de muestreo elaborado al efecto, el flujo de RSU que se generará en la ciudad al año 2020 se estima en 1356 toneladas, al término de dicho año, lo que implicaría la excavación de 4346 m<sup>3</sup> de tierra y un área de relleno de 0,0652 ha. El total de RSU (población más mercado) generado en el tiempo de vida útil del relleno sanitario (del 2003 al 2020) se estima en 18954 toneladas, para lo cual habría que excavar 56392 m<sup>3</sup> de tierra, ocupando un área total de relleno de 0,8496 ha, con una profundidad de 10 m. Los promedios anuales de generación de RSU, volumen a excavar y área de relleno a utilizar son de 1053 toneladas, 3133 m<sup>3</sup> y, 0,0472 ha, respectivamente. Se diseñó una planta de tratamiento para los lixiviados del sistema de relleno sanitario, con base en una laguna de oxidación aerobia-anaerobia, con un aireador superficial que garantice el suministro de oxígeno en la parte aerobia y el mezclado. Según el régimen de lluvias, se calculó un caudal máximo de 2,43 m<sup>3</sup>/d, una DBO<sub>5</sub> de 200 mg/L (según la literatura especializada para rellenos de al menos 10 años de edad). El área del estanque calculada fue de 0,0071 ha, 1,8 m de profundidad, con un 90 % de eliminación de la DBO<sub>5</sub>. Todas las estimaciones volumétricas estuvieron basadas en una densidad de los RSU, medida experimentalmente, de 312 kg/m<sup>3</sup>. Así mismo, se estimó una producción de metano en el relleno, según los criterios de Emcom Associates de entre 31590 y 63180 m<sup>3</sup> anuales. La Evaluación del Impacto Ambiental de la actual disposición de los RSU de Guano rindió una puntuación de – 218 puntos y se estimó que al implementar el sistema propuesto, la misma aumentará hasta -45 puntos, lo que implica un mejoramiento del 79 % de la calidad ambiental en la localidad.

## ABSTRACT

This investigation work deals on the design of a sanitary land filling system propuse for the management of the Solid Urban Wastes (SUW) generated in Guano city, located on Chimborazo province. Up today, such kind of wastes are disposed on a open dumping place, located outside and near the city, without the observation of the rules legislated for that purpose and invading the Guano river currents. The sanitary land filling system was design for 18 years as lifetime, this is, up to the year 2020 and, for that, it was measured the SUW flux of the city from now to 2020, according to a designed sampling. It is necessary the excavation of  $4346 \text{ m}^3$  de land and a landfilling area of 0,0652 ha for the generation of 1356 t in the year 2020. The total SUW (population plus food marked) generated during the system lifetime (from 2003 up to 2020) was estimated about 18954 t that implies to manage  $56392 \text{ m}^3$  of land, with an occupied landfilling area of 0,8496 ha, with 10 m depth. The annual average of generation, excavation volume and occupied area for the system was estimated on 1053 t,  $3133 \text{ m}^3$  y, 0,0472 ha, respectively; and all the calculations were based on a experimental measured density of Guano SUW about  $312 \text{ kg/m}^3$ . It was designed a plant for the lixiviates treatment based on a aerobic-anaerobic (facultative) stabilization pond, with aeration for the aerobic part. Taking into consideration the locality precipitation regime; values of lixivate flux of  $2,43 \text{ m}^3/\text{d}$  and  $\text{BOD}_5$  of 200 mg/L (for a matured landfilling of more than 10 years) give plant with 0,0071 ha; 1,8 m depth and an efficient of 90 % for  $\text{BOD}_5$  removal. Likewise, according to Emcom Associates the methane production in the landfilling, was calculated in the range of 31590 and  $63180 \text{ m}^3$  a year that it is proposed to be burnt on a flamer. The Environmental Impact Evaluation of the Guano SUW actual disposal yield a figure of – 218 points, while with the implementation of sanitary land filling designed it is estimated that such a figure increase up to -45 points, this is, the environmental quality in the location will be increased about 79 %.

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN .**

El mundo de hoy, caracterizado por la globalización, está tomando severas medidas en cuanto a la protección ambiental, bajo el criterio de que si bien es cierto la vida sobre la Tierra no terminará pronto debido al deterioro ambiental, al menos no será como hoy la conocemos al transcurrir unos cien años más.

Desde la época de la comunidad primitiva, los seres humanos y los animales han empleado los recursos de la tierra, no sólo para su supervivencia, sino también para la evacuación o disposición de los residuos humanos y animales, sin que ello provocara problemas significativos gracias a la pequeñez de la población humana con relación a la cantidad de terreno disponible para la asimilación de los residuos, de aquel entonces. Aunque en la actualidad se insiste en la recuperación de la energía contenida en los residuos sólidos y en el uso como fertilizantes de los mismos, los agricultores, antiguamente, realizaron un intento más audaz al respecto. Aún existen datos del reciclaje en prácticas agrícolas que aunque primitivas son eficientes, en muchos de los países en vías de desarrollo, donde los agricultores reciclan los residuos sólidos para ser utilizados como combustible o fertilizantes.

Los problemas relacionados con la disposición de los residuos sólidos comienzan a aparecer desde los tiempos en los que los seres humanos comenzaron a congregarse en tribus, aldeas y comunidades, y la acumulación de desechos se convirtió en una

consecuencia inevitable de la vida. La práctica de arrojar comida y otros residuos sólidos en las ciudades de la época medieval, el hecho de tirar los residuos a las calles no pavimentadas, carreteras y terrenos baldíos, implicó la reproducción de ratas, con sus pulgas asociadas, portando éstas la plaga bubónica. La ausencia de planes para la gestión de los residuos sólidos trajo las epidemias, como la de la Muerte Negra, que mató a la mitad de los europeos del siglo XIV. Ya en el siglo XIX se adoptaron medidas de control de la salud pública que se convirtieron, al aplicarlas, en acciones principales para los funcionarios públicos, los que comenzaron a comprender que los residuos orgánicos (de comida) tenían que ser recolectados, manipulados y evacuados de forma sanitaria, para controlar a roedores y moscas, fundamentales vectores transmisores de enfermedades.

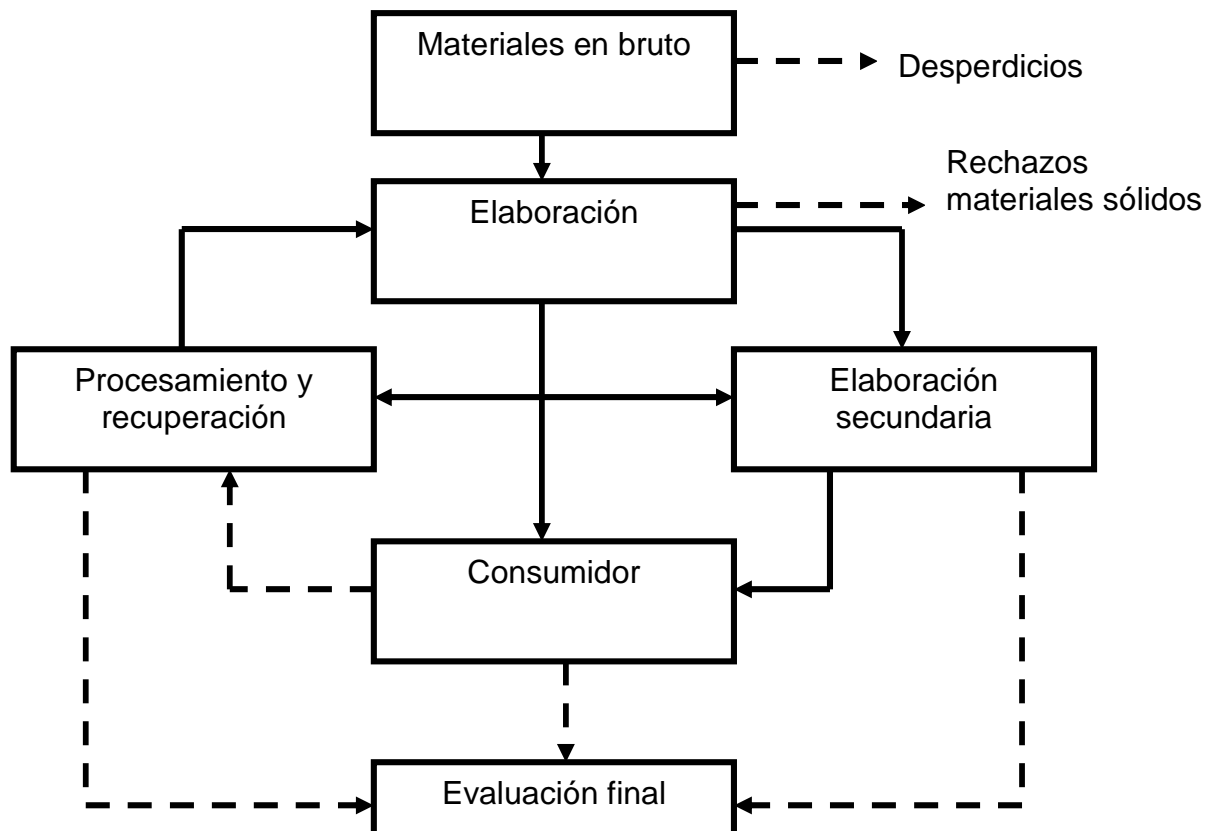
La relación entre la salud pública y el almacenamiento, recogida y evacuación inapropiados de residuos sólidos se ha establecido claramente. Se ha demostrado que las ratas, las moscas, y otros transmisores de enfermedades se reproducen en vertederos incontrolados, así como en viviendas mal construidas o mal mantenidas, en instalaciones de almacenamiento de comida, y en muchos otros lugares donde hay comida y condiciones para las ratas y los insectos asociados a ellas. El Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos de Norteamérica<sup>1</sup> ha publicado los resultados de un estudio, relacionando 22 enfermedades humanas con la gestión incorrecta de residuos sólidos. Varios fenómenos ecológicos, tales como la contaminación del aire, del agua y del suelo, han sido atribuidos también a la gestión incorrecta de los residuos sólidos. Por ejemplo, el lixiviado de basureros y vertederos mal diseñados, desde el ámbito de la ingeniería, ha contaminado los suelos y, las aguas superficiales y subterráneas. En zonas

---

<sup>1</sup> KREITH, F. (1990). Integrated Solid Waste Management: Options for Legislative Action. Genium Publishing Corporation, New York.

de minería, el líquido lixiviado de los vertederos puede contener elementos tóxicos de metales pesados y arsénico, o puede contaminar los suministros de aguas con sales de calcio y magnesio, no deseadas, que le confieren dureza. Aunque la naturaleza tiene la capacidad de diluir, extender, degradar, absorber o, de otra forma, reducir el impacto de los residuos no deseados en la atmósfera, en las vías fluviales y en la tierra, han existido desequilibrios ecológicos allí donde se ha excedido la capacidad de asimilación natural.

En las sociedades modernas, donde se ha desarrollado ampliamente la tecnología, junto a los beneficios que esta conlleva, también llegaron los problemas asociados, como la evacuación de los residuos resultantes. Una comprensión de estos fenómenos se logra a partir del examen del flujo de materiales y la generación de los residuos que con dicho flujo permanece asociada y que se muestra a continuación en la Fig. 1.1.



**Fig. 1.1.** Flujo de materiales y la generación de residuos sólidos en una sociedad

tecnológica.

De la Fig. 1.1 se aprecia que una de las formas de mayor eficiencia para la reducción de las cantidades de residuos sólidos que tienen que ser dispuestos, es reducir el consumo de materias primas e incrementar las tasas de recuperación y reutilización de materias residuales. En la práctica se da el hecho de que a pesar de la sencillez del concepto, la ejecución del mismo en una sociedad tecnológica que tiende a la modernización, como la ecuatoriana, resulta ser bien difícil. Por lo tanto, la sociedad está acometiendo mejoras en la gestión de los residuos sólidos y, está encontrando nuevas localizaciones y tecnología para el manejo de los residuos sólidos. A diferencia de los residuos líquidos y gaseosos dispuestos en aguas superficiales o en la atmósfera, los residuos sólidos no desaparecen, es decir, donde se viertan, ahí mismo permanecerán, en una elevada proporción.

El desarrollo tecnológico experimentado en el embalaje de materiales creó una situación cambiante de las características en las que se basan los profesionales que diseñan y evalúan instalaciones para el manejo de residuos sólidos<sup>2</sup>. Particularmente hay un incremento en la utilización de plásticos y en el consumo de alimentos congelados y liofilizados, que reducen la cantidad de residuos de comida en la casa, pero incrementan las cantidades, en las plantas agroindustriales, en cuanto al procesamiento. El consumo de comidas en conservas, genera menos residuos en los hogares excepto por los materiales de los envases. Estos cambios crean problemas al que diseña las instalaciones, debido a que las estructuras de ingeniería para el procesamiento de residuos sólidos conllevan grandes inversiones de capital, por lo que tienen que ser diseñadas por un período útil de al menos 20 años.

---

<sup>2</sup> SELKE, S. E. (1990). Packaging and the Environment: Alternatives, Trends and Solutions. Technomic Publishing Company. Lancaster, PA.



De otra parte, con la desaparición paulatina de la sociedad del despilfarro, la gestión integral de residuos sólidos se transforma en una parte integrante y, por tanto, interactuante de los sistemas económicos de los países desarrollados y de aquellos que se consideren en vías de desarrollo.

Según la división político– administrativa de la República del Ecuador, los municipios o cantones se erigen como las células básicas para el alcance de las metas provinciales y por tanto nacionales. Ese es el caso del manejo de los problemas ambientales, para cuyas soluciones, los Municipios se han convertido en niveles claves.

La gestión ambiental, como conjunto de actividades normativas, administrativas, operativas y de control, estrechamente vinculadas, que deben ser ejecutadas por el Estado y la Sociedad en general y, así garantizar el desarrollo sostenible, de manera tal que desemboque en una óptima calidad de vida, es el arma fundamental que sirve como instrumento para la protección ambiental.

La ciudad de Guano forma parte de la provincia de Chimborazo; se encuentra ubicado en la sierra central del país, en el Altiplano andino tiene una altitud de 2750 m.s.n.m. se halla a 8 km de Riobamba. La superficie es de 473,3 km<sup>2</sup> y corresponde al 7 % de la superficie total de la provincia de Chimborazo, se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas siguientes: 01 38' de Latitud Sur y 78 38' de Longitud Oeste. Al Norte limita con la colina de Tuncahuán, al Sur con el río Guano, al Este se extiende hasta la plazoleta de la parroquia urbana Santa Teresita, al Oeste limita con la gruta de

la Asunción.

La zona presenta un clima templado con estaciones marcadas, seca y lluviosa, y verano frío. Considerando la clasificación climática, el subtipo climático correspondiente a la ciudad de Guano sería el de templado-lluvioso, con estación seca y verano frío.

La temperatura más alta se presenta en el mes de diciembre ( $28,3^{\circ}\text{C}$ ), la temperatura media oscila entre los  $13^{\circ}\text{C}$  y la temperatura mínima es de  $3,6^{\circ}\text{C}$ , que empieza en el mes de octubre.

Las precipitaciones de mayor intensidad corresponden al mes de abril con 104,5 mm, y la menor intensidad se presenta en el mes de agosto con 4,9 mm. La precipitación promedio anual es de 31,15 mm.

Los vientos predominantes son los que van en dirección Noreste-Este. En los meses de julio, agosto, septiembre, se presentan con mayor velocidad. En general se los puede considerar moderados.

La humedad relativa que existe en la zona es de 72 % anual y se tiene casi constante durante todo en año con variaciones entre 69 y 77 %. De acuerdo a la clasificación ecológica de Holdridge, la ciudad de Guano (ver Fig. 1.2) se ubica dentro del tipo conocido como estepa espinoso Montano Bajo.

El sistema de manejo de residuos sólidos urbanos (RSU) que más aceptación está teniendo últimamente en el mundo es el Relleno Sanitario, el cual se aplica lo mismo a

poblaciones grandes como pequeñas. En el caso de la población de Guano, según el cen



**Fig. 1.2.** Vista aérea de la ciudad de Guano.

so de Población realizado, cuenta con 7 471 habitantes estimado al año 2003, según el INEC y para el año 2020 se proyecta en 13 513 habitantes, a los que deberá satisfacer cualquier proyecto dirigido al manejo ambiental de los desechos sólidos de la localidad.

En la actualidad los desechos sólidos de la población de Guano, responsabilidad del I. Municipio (ver Fig. 1.3) se transportan en carros recolectores cerrados y se depositan sobre un terreno que tiene una pendiente (ver Fig. 1.4 y 1.5), ubicada a unos 3 km del centro de la ciudad. Por efecto de la acumulación de los desechos, la topografía del lugar de vertimiento y de la lluvia, se produce un impacto considerable en el río Guano tanto por líquidos lixiviados como por los propios desechos que invaden la corriente

hídrica referida.



**Fig. 1.3.** I. Municipio del catón Guano.

Otras ciudades cabeceras municipales de la provincia manejan sus desechos sólidos urbanos, aproximadamente de la misma manera de cómo se lo realiza en la ciudad de Guano, es decir, a cielo abierto, provocándose problemas similares que los producidos en esta última localidad.

En las Fig. 1.4 se observa la recolección de basuras en el mercado municipal.





**Fig. 1.4.** Recolección de basuras en el mercado municipal.

El término *residuos sólidos* abarca todos los materiales sólidos o semisólidos, generados en la producción de un bien material o en la prestación de un servicio, que el que los produce, frecuentemente el poseedor, no les atribuye valor suficiente, y es la gestión ambiental de estos materiales lo que preocupa a la sociedad. De todos los residuos sólidos, generados, los más importantes desde el punto de vista social son los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) <sup>3</sup>.

En la Fig. 1.5 se observa el botadero a cielo abierto actual establecido en las afueras de la ciudad de Guano.

---

<sup>3</sup> MORTENSEN, E. y KIELY G. (1999). Tratamiento de Residuos Sólidos. En Ingeniería Ambiental de Kiely G., Vol III, Ed. McGraw-Hill, New York, USA



**Fig. 1.5.** Botadero de basura a cielo abierto de la ciudad de Guano, donde se observa también la quebrada Langos

En la República de Chile se han construido sistemas de rellenos sanitarios con recuperación de biogás<sup>4</sup> de manera tal que en 10 ha se maneja la basura de casi la cuarta parte de la ciudad de Santiago de Chile, suministrándole biogás para uso doméstico al propio sector aportador de los RSU. Asimismo, en áreas de la ciudad de Vancouver, Canadá y de varias ciudades norteamericanas, Naciones Unidas<sup>5</sup> ha reportado el diseño y operación satisfactoria de sistemas de rellenos sanitarios, en los

---

<sup>4</sup> DURÁN, H. (1993). Políticas para la gestión ambientalmente adecuada de los residuos: el caso de los residuos sólidos urbanos e industriales en Chile a la luz de la experiencia internacional. CEPAL, Santiago de Chile.

<sup>5</sup> UNITED NATIONS ECONOMIC COMISIÓN FOR EUROPE. (1991). Elaboration of a regional strategy on integrated waste management. Economic and Social Council. UNECE. Stockholm.

cuales se quema el biogás producido y se le aplica tratamiento anaerobio a la corriente de lixiviados derivada de los mismos. Fundación Natura reporta el vertido sanitario, satisfactoriamente, aunque sin recuperación del biogás, de desechos domésticos y especiales en sistemas de rellenos sanitarios, por ejemplo en la ciudad de Cuenca.

## **1.1. JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad, uno de los principales problemas que confronta la ciudad de Guano está relacionado con la disposición de los Residuos Sólidos Urbanos de la localidad, por lo que el I. Municipio está apoyando la realización de esta investigación, la misma que cuenta con los tres tipos de utilidades que caracterizan un estudio, es decir, práctica, teórica y metodológica.

Desde el punto de vista práctico, los resultados de la investigación caracterizarán el sistema de relleno sanitario a construir para la ciudad bajo estudio, es decir, dicho sistema quedará macrolocalizado, dimensionado y diseñada la planta de tratamiento de los lixiviados. Este sistema evitaría la afluencia de RSU al río Guano, así como la afectación del agua de regadío que circula por una acequia que atraviesa el botadero actual (ver Fig. 1.6 y 1.7).



**Fig. 1.6.** Contaminación del río Guano por la afluencia en el mismo de RSU depositados por sus habitantes.





**Fig. 1.7.** Vista del canal de agua Chambo- Guano que atraviesa al botadero actual a cielo abierto de los RSU de la ciudad de Guano.

Desde el punto de vista teórico, se confirma las ecuaciones de diseño destinadas al cálculo de las dimensiones del sistema y de la planta de tratamiento de lixiviados correspondiente.

Metodológicamente, se plantea una variante de listado para la evaluación del impacto ambiental que actualmente causa el manejo y disposición de los RSU, de la localidad.

## **1.2. PROPOSICIÓN DE TRABAJO**

Teniendo en cuenta que:

- El cantón Guano, en cuanto a recursos naturales, se caracteriza sobre todo, por contar con el río Guano, empleándose este como atractivo turístico en diferentes usos
- No existe en la actualidad un sistema para la gestión ambiental de los RSU de la ciudad de Guano.
- Los desechos sólidos de la ciudad se disponen a cielo abierto en un lugar tipo quebrada
- No se cumple, para la ciudad de Guano, con los requisitos que están estatuidos para la gestión de RSU.
- El Ministro de Salud Pública, mediante Acuerdo Ministerial No. 14630, publicado en el Registro Oficial No. 991 de 3 de agosto de 1992, expide el Reglamento para el Manejo de los Desechos Sólidos, el mismo que hasta el presente se encuentra vigente, sin recibir variación alguna.
- El manejo de las basuras en todo el país será responsabilidad de las municipalidades de acuerdo a la Ley de Régimen Municipal y el Código de la Salud.

- Se ha comprobado la efectividad ambiental de los sistemas de relleno sanitarios para el vertido de los RSU.

Luego de la presente investigación y la cuantificación de los RSU que en función del tiempo se producen en la ciudad de Guano así como de la evaluación del impacto ambiental de la actual forma de disposición se propone el diseño de un sistema de relleno sanitario para la disposición final de los RSU de la ciudad, con la correspondiente planta de tratamiento de los lixiviados y el dispositivo para la combustión del biogás a producirse en el relleno.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar un Plan de Manejo Ambiental de los residuos sólidos urbanos (RSU) ciudad de Guano, provincia de Chimborazo, con base en un sistema de Relleno Sanitario.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Establecer la línea base del manejo de los RSU en la ciudad de Guano.
- Caracterizar los RSU generados en la ciudad de Guano.

- Proponer un sistema de Relleno Sanitario

#### **1.4. HIPÓTESIS**

Es posible la elaboración de un plan de manejo ambiental de los RSU de la ciudad de Guano, con base en un sistema de Relleno Sanitario, que propicie la elevación del nivel de calidad ambiental de la ciudad y sus recursos naturales

## **CAPITULO II**

### **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1. MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS**

A lo largo de la historia, el primer problema de los residuos sólidos ha sido su eliminación, pues su presencia es más evidente que otro tipo de residuos y su proximidad resulta molesta. La sociedad solucionó este problema quitándolo de la vista, arrojándolo a las afueras de las ciudades, cauces de los ríos o en el mar, u ocultándolo mediante enterramiento. El crecimiento acelerado de la población en los últimos años, así como el proceso de industrialización han aumentado la generación de residuos.

Hace 30 años, la generación de residuos por persona era de unos 200 a 500 g/hab/día, mientras que hoy se estima entre 500 y 1.000 g/hab/día. En los países desarrollados, esta cifra es dos a cuatro veces mayor. Pero el problema no radica solamente en la cantidad sino también en la calidad o composición que pasó de ser densa y casi completamente orgánica a ser voluminosa, parcialmente no biodegradable y con porcentajes crecientes de materiales tóxicos.

La cantidad diaria de residuos sólidos urbanos que se genera (1995) en América Latina asciende a 275.000 toneladas. Se estima que sólo 75% es recolectada y de ella sólo 30% se dispone en rellenos sanitarios; predominan los botaderos a cielo abierto con quema indiscriminada de desechos y sin tratamiento de lixiviados, situados muchas veces en áreas densamente pobladas. Para recolectar y

disponer esta basura se necesita una flota de 28.000 camiones recolectores y 350.000 m<sup>3</sup> diarios de espacio para enterrarla sanitariamente.

Para el año 2000, la población urbana de Latinoamérica será de aproximadamente 405 millones de habitantes (355 millones en 1995) lo que implica una mayor demanda de servicios, la necesidad de triplicar la actual capacidad operacional de los sistemas de manejo y creciente disponibilidad de recursos económicos, institucionales y de personal.

Cada una de las 50 ciudades con más de un millón de habitantes que hay en la Región requiere de flotillas de 100 a 1.500 camiones para la recolección y de 500 a 10.000 barrenderos para limpiar las calles. Los problemas logísticos, administrativos, organizacionales y financieros asociados a lo anterior, sólo pueden ser afrontados por organismos operadores institucionalmente fuertes y organizados. Aunque de menor cuantía, los problemas son similares en ciudades medianas y pequeñas con el agravante de estar físicamente más retiradas de los centros de desarrollo tecnológico, de decisión y de información.

El incremento del comercio ambulatorio y la ocupación informal de los espacios públicos que se agudiza en algunas grandes ciudades del continente, tienden a hacer más críticos los problemas de la limpieza pública.

La segregación informal, sin ningún control sanitario, se practica en las puertas de las casas, en las calles, en los vehículos colectores, botaderos y rellenos de casi todas las ciudades. Se estima que más de 100.000 personas ejecutan este tipo de actividad, la mayoría son mujeres y niños.

## **2.2. ORÍGENES, TIPOS Y COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Desde el punto de vista ambiental, a cualquier profesional encargado del diseño, la operación y la evaluación de los procesos unitarios asociados con la gestión de residuos sólidos, se le hace necesario el conocimiento de los orígenes, tipos, composición y tasas de generación de los mismos. En el Cuadro No. 2.2 aparecen categorizados los residuos sólidos de acuerdo con sus orígenes. Nótese que los RSU influyen todos los residuos sólidos con excepción de los procesos industriales y agrícolas.

Advirtiéndose ante todo sobre la variabilidad de la nomenclatura utilizada en la bibliografía para la denominación de los diferentes tipos de residuos sólidos, se establecerá, en este trabajo de investigación, una terminología (Cuadro No. 2.2) que sirva de guía.

**Cuadro No. 2.2.** Orígenes de los residuos sólidos de la comunidad.

<b>FUENTE</b>	<b>INSTALACIONES, ACTIVIDADES LOCALIZACIONES DONDE SE GENERAN</b>	<b>TIPOS DE RESIDUOS SÓLIDOS</b>
Doméstica	Viviendas aisladas y edificios de baja, mediana y elevada altura, unifamiliares y multifamiliares.	Residuos de comida, papel, cartón, plástico, textiles, cuero, residuos de jardín, madera, vidrio, latas de hojalata, aluminio, otros metales, cenizas, hojas en la calle, residuos especiales (artículos voluminosos, electrodomésticos, baterías, pilas, aceite, neumáticos), residuos domésticos peligrosos.
Comercial	Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, hoteles, moteles, imprentas, gasolineras, talleres mecánicos, etc.	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales (ver párrafo de arriba), residuos peligrosos, etc.
Institucional	Escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales.	(Ídem comercial)
Construcción y demolición	Lugares nuevos de construcción, lugares de reparación / renovación de carreteras, derribos de edificios, pavimentos rotos.	Madera, acero, hormigón, suciedad, etc.
Servicios municipales (excluyendo plantas de tratamiento)	Limpieza de calles, de cuencas, de parques y playas, de otras zonas de recreo.	Residuos especiales, basura, barreduras de calle, recortes de árboles y plantas, residuos de cuencas, residuos generales de parques, playas y zonas de recreo.
Plantas de tratamiento; incineradores municipales	Aguas, aguas residuales y de procesos de tratamiento industrial, etc.	Residuos de plantas de tratamiento, compuestos principalmente de lodos.



Residuos sólidos urbanos	Todos los citados.	Todos los citados.
Industrial	Construcción, fabricación, refinerías, plantas químicas, centrales térmicas, demolición.	Residuos de procesos industriales, materiales de chatarra, etc. Residuos no industriales incluyendo residuos de comida, basura, cenizas, residuos de demolición, construcción, especiales y peligrosos.

Fuente: Tchobanoglous, G. Theisen H. Y Vigil S. (1994). Ed. McGraw-Hill. Ciudad México

### 2.2.1. Basura doméstica y comercial

Son residuos sólidos orgánicos (combustibles) e inorgánicos (no combustibles) de zonas residenciales y establecimientos comerciales. Normalmente, la fracción orgánica de los residuos sólidos domésticos y comerciales está formada por materiales como residuos de comida, papel, cartón, todo tipo de plásticos, textiles, goma, cuero, madera, residuos de jardín. La fracción inorgánica está formada por artículos de vidrio, cerámicas, latas, aluminio, metales férreos, suciedad. Si los componentes de los residuos no se separan cuando se desechan, entonces la mezcla de estos residuos recibe el nombre de RSU domésticos y comerciales no seleccionados<sup>6</sup>.

Los residuos que se oxidan rápidamente, esencialmente en climas templados y tropicales, también se conocen como residuos putrescibles. Esta descomposición provoca malos olores y la proliferación de moscas y otros insectos. En muchas comunidades la naturaleza

---

<sup>6</sup> TREJO R. (1996). Procesamiento de la Basura Urbana. Ed. Trillas. México, D.F.

putrescible de estos residuos incidirá en el diseño y en la operación del sistema de recogida de residuos sólidos.

El papel de desecho presente en los RSU normalmente está compuesto de periódicos, libros y revistas, impresos comerciales, papel de oficina, cartón, embalajes de papel, otros papeles no destinados al embalaje, pañuelos y toallas de papel, y cartón ondulado.

El plástico encontrado en los RSU se clasifican en las categorías siguientes:

- Polietileno tereftalato (PET/1)
- Polietileno alta densidad (PE-HD/2)
- Policloruro de vinilo (PVC/3)
- Polietileno baja densidad (PE-LD/4)
- Polipropileno (PP/5)
- Poliestireno (PS/6)
- Otros materiales plásticos laminados (7)

El tipo de recipiente plástico puede identificarse por el número (del 1 al 7, ambos incluidos) moldeado al fondo del recipiente. Plástico es el término utilizado para la mezcla de tipos individuales encontrados en los RSU.

### **2.2.2. Residuo Peligroso**

Es aquel que en cualquier estado físico puede provocar daños a la salud y al medio

ambiente; por definición existe un código llamado CRETIB, el cual es la conjunción de corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable, biológico infeccioso.

Algunos de los problemas ecológicos del desarrollo de centros urbanos es la generación de residuos peligrosos (RP's), ya que estos afectan a la salud y al ambiente, y en algunos casos el daño provocado por los RP's es permanente. Los problemas y costos que acarrea su disposición final inadecuada son de tal magnitud, que puede decirse que los residuos constituyen uno de los desafíos más importantes que enfrentan las ciudades industriales fronterizas. En algunos casos los costos de disposición de RP's eleva en un gran porcentaje los costos de operación, haciendo, de esta manera, incosteables algunos procesos productivos.

Esta contaminación, está constituida por residuos líquidos, sólidos o borras, ya sean tóxicos, infecciosos, reactivos, combustibles o inflamables, explosivos, persistentes o radioactivos, tanto industriales, como hospitalarios, los que constituyen un riesgo directo o indirecto para la salud de la población.

Los desechos peligrosos han sido definidos por la EPA como desechos o combinaciones de desechos que presentan un peligro considerable presente o potencial a la salud humana o a organismos vivos debido a que: 1) tales desechos no son degradables o persisten en la naturaleza, 2) pueden ser concentrados biológicamente, 3) pueden ser letales, o 4) por otra parte pueden causar o tender a producir efectos acumulativos perjudiciales.

### **2.2.3. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los Residuos Sólidos Urbanos**

#### *2.2.3.1. Propiedades físicas de los RSU*

##### a) Peso específico

Peso de material por unidad de volumen ( $\text{kg/m}^3$ ), debiendo especificarse si se refiere a residuos sueltos compactados o no compactados. Los datos sobre peso específico frecuentemente son necesarios para valorar la masa y el volumen total de los residuos que tienen que ser gestionados. Realmente hay poca o ninguna uniformidad en la forma de presentar los pesos específicos en la literatura especializada, y muchas veces no se hace referencia a distinción entre pesos específicos de RSU compactados y no compactados. En el Cuadro No. 2.3 aparecen datos típicos sobre pesos específico y contenido de humedad.

**Cuadro No. 2.3.** Datos típicos sobre peso específico y contenido de humedad para residuos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas.

Tipos de residuos	PESO ESPECIFICO kg/m <sup>3</sup>		CONT. HUMEDAD % peso	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Domésticos (no compactados)				
Residuos de comida (mezclados)	131-481	291	50-80	70
Papel	42-131	89	4-10	6
Cartón	42-80	50	4- 8	5
Plásticos	42-131	65	1- 4	2
Textiles	42-101	65	6-15	10
Goma	101-202	131	1- 4	2
Cuero	101-261	160	8-12	10
Residuos de jardín	59-225	101	30-80	60
Madera	131-320	237	15-40	20
Vidrio	160-481	196	1- 4	2
Latas de hojalata	50-160	89	2- 4	3
Aluminio	65-240	160	2- 4	2
Otros metales	131-1151	320	2- 4	3
Suciedad, cenizas, etc.	320-1000	481	6-12	8
Cenizas	650-831	745	6-12	6
Basuras	89-181	131	5-20	15
Residuos de jardines domésticos				
Hojas (sueltas y secas)	30-148	59	20-40	30
Hierba verde (suelta y húmeda)	208-297	237	40-80	60
Hierba verde (húmeda y compactada)	593-831	593	50-90	80
Residuos de jardín (triturados)	267-356	297	20-70	50
Residuos de jardín (compostados)	267-386	326	40-60	50
Urbanos				
En camión compactador	178-451	297	15-40	20
En vertedero				
Medianamente compactados	362-498	451	15-40	25
Bien compactados	590-742	600	15-40	25

Comerciales				
Residuos de comida (húmedos)	475-950	540	50-80	70
Aparatos	148-202	181	0- 2	1
Cajas de madera	110-160	110	10-30	20
Podas de árboles	101-181	148	20-80	5
Basura (combustible)	50-181	119	10-30	15
Basura (no combustible)	181-362	300	5-15	10
Basura (mezclada)	139-181	160	10-25	15
Construcción y demolición				
Demolición mezclados (no combustible)	1000-1600	1421	2-10	4
Demolición mezclados (combustible)	300-400	360	4-15	8
Construcción mezclados	181-360	261	4-15	8
Hormigón roto	1198-1800	1540	0- 5	-
Industriales				
Lodos químicos (húmedos)	801-1101	1000	75-99	80
Cenizas volantes	700-900	800	2-10	4
Restos de cuero	100-250	160	6-15	10
Chatarra metálica (pesada)	1501-2000	1780	0- 5	-
Chatarra metálica (ligera)	498-900	740	0- 5	-
Chatarra metálica (mezclada)	700-1500	900	0- 5	-
Aceites, alquitranes, asfaltos	801-1000	950	0- 5	2
Serrín	101-350	291	10-40	20
Residuos textiles	101-220	181	6-15	10
Madera (mezclada)	400-676	498	30-60	25
Agrícolas				
Agrícolas (mezclados)	400-751	561	40-80	50
Animales muertos	202-498	359	----	
Residuos de frutas (mezclados)	249-751	359	60-90	75
Estiércol (húmedo)	899-1050	1000	75-96	94
Residuos de vegetales (mezclados)	202-700	359	60-90	75

Fuente: Tchobanoglous, G. Theisen H. Y Vigil S. (1994). Ed. McGraw-Hill. Ciudad México

Al seleccionar valores típicos de pesos específicos de RSU hay que tener en cuenta que estos varían apreciablemente dependiendo de la localización geográfica, de la estación del año y del tiempo de almacenamiento. Los RSU tal y como se entregan por los vehículos de compactación<sup>7</sup> varían sus pesos específicos entre 178 y 415 kg/m<sup>3</sup>, con un valor típico de alrededor de 300 kg/m<sup>3</sup>

#### b) Contenido de humedad

Generalmente se expresa de dos formas: en base al peso húmedo y en base al peso seco del material. El método en base al peso húmedo se emplea con mayor frecuencia al hacer gestión de residuos sólidos. El *método peso-húmedo* se expresa de la siguiente forma:

$$M = \frac{w - d}{w} \times 100$$

donde: M = Contenido de humedad, porcentaje.

w = Peso inicial de la muestra según se entrega (kg).

d = Peso de la muestra después de secarse.

#### c) Capacidad de campo

La capacidad de campo de los residuos sólidos es la cantidad total de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuo sometida a la acción de la gravedad. Es un parámetro fundamental para la determinación de la formación de lixiviados en los vertederos y rellenos sanitarios, ya que cualquier exceso de agua por encima de la

---

<sup>7</sup> WAGNER, T. P. (1991). Hazardous Waste regulations, Ed. Van Nostrand Reinhold. 2da. Ed. New York.

capacidad de campo producirá lixiviación en la misma cantidad del exceso.

La capacidad de campo es una función de la presión aplicada y del estado de descomposición de los residuos. Una capacidad de campo de un 30 % en volumen se corresponde con 76,2 - 256 cm. La capacidad de campo de los residuos no seleccionados y no compactados de orígenes doméstico y comerciales está en el intervalo de 50 - 60 %<sup>5</sup>.

#### d) Permeabilidad de los residuos

El movimiento de gases y líquidos dentro de un vertedero está gobernado por el coeficiente de permeabilidad:

$$K = C d^2 \frac{PE_{\text{agua}}}{\mu} = p_i \frac{PE_{\text{agua}}}{\mu}$$

donde:

$K$  = Coeficiente de permeabilidad.

$C$  = Factor de forma (constante adimensional).

$d$  = Tamaño medio de poros.

$PE_{\text{agua}}$  = Peso específico del agua.

$\mu$  = viscosidad dinámica del agua.

$p_i$  = permeabilidad intrínseca.

El termino  $Cd^2$  se conoce como permeabilidad intrínseca (o específica), la cual depende solamente de las propiedades del material sólido, incluyendo la distribución de los tamaños de poro, la complejidad, la superficie específica y la porosidad. Los valores típicos de la permeabilidad intrínseca de los residuos sólidos compactados en un vertedero se encuentran dentro del rango  $10^{-11}$  y  $10^{-12} \text{ m}^2$  en la dirección vertical y unos  $10^{-10} \text{ m}^2$  en la



dirección horizontal.

#### 2.2.3.2. *Propiedades químicas de los RSU*

El conocimiento de la composición química de los RSU permite la evaluación de las diferentes alternativas de tratamiento y disposición. Generalmente se puede pensar que los residuos son una combinación de materiales semihúmedos combustibles y no combustibles. Si los residuos sólidos van a utilizarse como combustible, son de importancia las siguientes cuatro propiedades:

- a) Análisis físico.
- b) Punto de fusión y cenizas.
- c) Análisis elemental.
- d) Contenido energético.

Cuando se va a producir compost a partir de la fracción orgánica de los RSU, o se va a utilizar para la elaboración de otros productos de conversión biológica, es importante conocer las composiciones de los elementos mayoritarios, sino también de los elementos traza componentes de los residuos.

- a) Análisis físico

El análisis físico para los componentes combustibles de los RSU abarca los siguientes ensayos:

1. Humedad: pérdida de humedad cuando se calienta a 104 °C durante una hora.

2. Materia volátil combustible: pérdida de peso adicional con la ignición a 950 °C en un crisol cubierto.
3. Carbono fijo: rechazo combustible dejado después de retirar la materia volátil.
4. Ceniza: peso del rechazo después de la incineración en un crisol abierto.

Los datos inmediatos del contenido elemental de los RSU se muestran en el Cuadro No. 2.4.

**Cuadro No. 2.4.** Distribución porcentual de los elementos que componen mayoritariamente los RSU.

Componente	Peso Húmedo (kg)	Peso seco (kg)	Composición (kg)					
			C	H	O	N	S	Ceniz
Residuos de comida	9,0	2,7	1,30	0,17	1,02	0,07	0,01	0,14
Papel	34,0	32,0	13,92	1,92	14,08	0,10	0,06	1,92
Cartón	6,0	5,7	2,51	0,34	2,54	0,02	0,01	0,28
Plásticos	7,0	6,9	4,14	0,50	1,57	-	-	0,69
Textiles	2,0	1,8	0,99	0,12	0,56	0,08	-	0,05
Goma	0,5	0,5	0,39	0,05	-	0,01	-	0,05
Cuero	0,5	0,4	0,24	0,03	0,05	0,04	-	0,04
Residuos de jardín	18,5	6,5	3,11	0,39	2,47	0,22	0,02	0,29
Madera	2,0	1,6	0,79	0,10	0,68	-	-	0,02
Total	79,5	58,1	27,39	3,62	22,97	0,54	0,10	3,48

Fuente: Tchobanoglous, G. Theisen H. Y Vigil S. (1994). Ed. McGraw-Hill. Ciudad México

### 2.2.3.3. *Propiedades biológicas de los RSU*

Con la exclusión del cuero, el plástico y la goma, la fracción orgánica de la mayoría de los RSU se puede clasificar como a continuación:

- Componentes solubles en agua, tales como azúcares, aminoácidos, féculas y varios ácidos orgánicos.
- Hemicelulosa, producto de condensación de azúcares con 5 y 6 átomos de carbono.
- Celulosa, producto de condensación de glucosa (6 átomos de carbono).
- Grasas, aceites y ceras, que son ésteres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga.
- Lignina, material polimérico (polifenoles con grupos metoxi,  $-\text{OCH}_3$ ), cuya fórmula exacta aún no se conoce, presentes en algunos productos de papel y en madera aglomerada).
- Lignocelulosa, combinación de lignina y celulosa.
- Proteínas, formadas por cadenas de aminoácidos.

La propiedad de origen biológico más importante de los RSU es que su fracción orgánica puede ser convertida, biológicamente en gases, sólidos orgánicos e inorgánicos prácticamente inertes. Los malos olores y moscas que se originan en los RSU se deben a las facilidades que tiene la fracción orgánica para sufrir putrefacción<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> SALVATO, J. A. (1992). Environmental Engineering and Sanitation. Ed. Wiley-Interscience, 4<sup>th</sup> Ed. New York.

#### **2.2.4. Bioestabilización de la fracción orgánica de los RSU**

$$FB = 0,83 - 0,028 CL$$

donde: FB = Fracción biodegradable expresada en base a los sólidos volátiles (SV).

0,83 y 0,028 = Constantes empíricas.

CL = Contenido de lignina de los SV expresado como un porcentaje en peso seco.

El Cuadro No. 2.5 muestra datos sobre la fracción biodegradable de componentes seleccionados de residuos orgánicos basándose en el contenido de lignina.

**Cuadro No. 2.5.** Datos sobre la fracción biodegradable de componentes seleccionados de residuos orgánicos basándose en el contenido de lignina.

Componente	SV porcentaje de sólidos totales (ST)	Contenido de lignina porcentaje de SV	Fracción biodegradable (FB) <sup>a</sup>
Residuos de comida	7 - 15	0,4	0,819
Papel			
Papel de periódico	94,0	21,9	0,217
Papel de oficina	96,4	0,4	0,819
Cartón	94,0	12,9	0,467
Residuos de jardín	50 - 90	4,1	0,715

a: calculado empleando la ecuación  $FB = 0,83 - 0,028 CL$

Fuente: Tchobanoglous, G. Theisen H. Y Vigil S. (1994). Ed. McGraw-Hill. Ciudad México

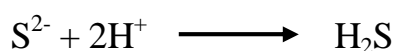
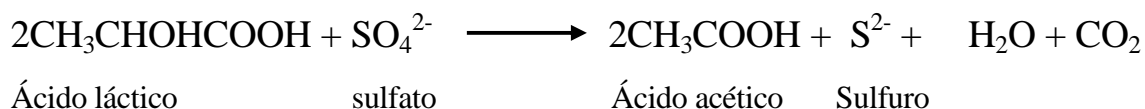
La velocidad de la bioestabilización de la fracción orgánica de los RSU varía bastante.

Para fines prácticos se clasifican como de bioestabilización rápida y lenta.

### 2.2.5. Generación de olores

Hay tres lugares donde pueden producirse olores en los RSU cuando se almacenan durante largos períodos de tiempo: in situ, es decir, en el lugar donde se generan entre recogidas, en estaciones de transferencia, y en vertederos. In situ, sobre todo en climas

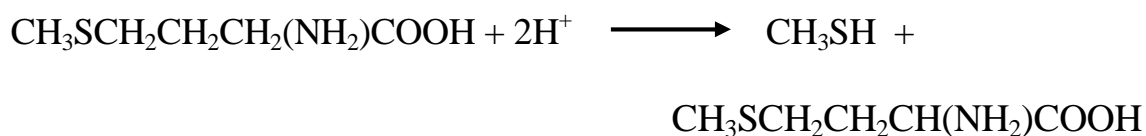
cálidos. La transformación biológica de los residuos orgánicos ocurre anaerobiamente<sup>9</sup>. Por ejemplo, en ausencia de oxígeno, ocurren procesos de reducción, como la del sulfato a sulfuro, el cual se combina con el hidrógeno para formar el maloliente sulfuro de hidrógeno:



El ión sulfuro también puede formar sales metálicas, como sulfuro de hierro (II), el cual es el principal responsable del color negro de los residuos sólidos que han sufrido bioestabilización anaerobia, lo que también hace que se reduzca la producción de olores en los vertederos:



También la reducción biológica de un compuesto orgánico con radical de azufre puede ser causa de formación de compuestos que producen malos olores como el metilmercaptano y el ácido amino butírico (Tchobanoglous, G., Thiesen H. y Vigil, S., 1994). Como ejemplo se puede citar la reducción de la metionina, un aminoácido sulfurado:




---

<sup>9</sup> MANTELL, M. T. (1975). Solid Wastes: Origin, Collection, Processing and Disposal. Ed. Wiley – Interscience, New York.

Entonces el metil mercaptano puede hidrolizarse bioquímicamente para convertirse en etanol y sulfuro de hidrógeno:



#### 2.2.6. Reproducción de moscas

Durante el verano y en todas las estaciones de los climas cálidos, la reproducción de moscas es una cuestión importante para el almacenamiento in situ de residuos<sup>10</sup>. Las moscas pueden desarrollarse en menos de dos semanas después de poner los huevos. La historia vital de una mosca común desde el huevo hasta su estado adulto se puede describir de la forma siguiente:

Desarrollo de huevos	8 - 12 horas
Primera etapa del período larval	20 horas
Segunda etapa del período larval	24 horas
Tercera etapa del período larval	3 días
Etapla crisálida	4 - 5 días
-----	
Total	9 - 11 días

El problema del desarrollo de moscas, desde la etapa larval (gusano), en los contenedores de almacenamiento in situ, depende de los siguientes hechos: si los gusanos se desarrollan, son difíciles de quitar cuando se vacían los contenedores. Los que permanecen pueden desarrollarse hasta convertirse en moscas. Los gusanos también salen de los recipientes

<sup>10</sup> TCHOBANOGLOUS, G., THEISEN, H. y ELIASSEN, R. (1977). Solid Waste: Engineering Principles and Management Issues, Ed. McGraw-Hill, New York.

destapados y se desarrollan hasta convertirse en moscas, contaminando así el terreno circundante.

### **2.3. TRANSFORMACIONES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS**

Los RSU pueden sufrir transformaciones físicas, químicas y biológicas, causadas por la gestión del hombre o por la naturaleza. Estas transformaciones, que se resumen en el Cuadro 2.6, pueden emplearse en la gestión de los RSU.



**Cuadro 2.6.** Procesos de transformación empleados en la gestión de residuos sólidos.

<b>Proceso de transformación</b>	<b>Medio o método de transformación</b>	<b>Productos principales de la conversión o transformación</b>
<b>FISICO</b>		
Separación de componente.	Separación manual y/o mecánica.	Componentes individuales encontrados en los residuos sólidos no seleccionados.
Reducción en volumen.	Aplicación de energía en forma de fuerza o presión.	Reducción del volumen de los residuos originales.
Reducción de tamaño.	Aplicación de energía en forma de trituración.	Alteración de forma y reducción de tamaño de los residuos originales.
<b>QUIMICO</b>		
Combustión	Oxidación térmica.	Dióxidos de carbono, de azufre y otros productos de oxidación.
<b>CENIZAS</b>		
Pirólisis	Destilación destructiva.	Una corriente gaseosa que contiene una variedad de gases, alquitrán y/o aceite y un combustible carbonoso.
Gasificación	Combustión con defecto de aire.	Un gas de bajo poder calorífico, un combustible que contiene carbono e inertes originalmente en el combustible, y aceite pirolítico.
<b>BIOLOGO</b>		
Aerobio	Conversión biológica aerobia	Material húmico utilizado como acondicionador de suelos.
Digestión anaerobia (bajo o alto contenido en sólidos.	Conversión biológica anaerobia	Metano, dióxido de carbono, trazas de otros gases, humus o lodos digeridos.
Compostaje anaerobio	Conversión biológica anaerobia.	Metano, dióxido de carbono, residuos digeridos.

Fuente: Tchobanoglous, G. Theisen H. Y Vigil S. (1994). Ed. McGraw-Hill. Ciudad México

### 2.3.1. TRANSFORMACIONES FÍSICAS

Las transformaciones físicas principales que intervienen en los sistemas de gestión de residuos sólidos son:

- a) Separación de componentes.
- b) Reducción mecánica de volumen.
- c) Reducción mecánica de tamaño.

Mientras las transformaciones químicas y biológicas implican cambios de fase (por ejemplo de sólido a gas), en las operaciones químicas estos no se dan (Trejo, R., 1996).

- a) Separación de componentes

Los RSU no seleccionados contienen una serie de componentes perfectamente identificables, que, mediante métodos manuales y/o mecánicos, así, a través de la separación de componentes se transforman residuos heterogéneos en un número de componentes más o menos homogéneos. La separación de componentes es particularmente importante en la recuperación de materiales reutilizables y reciclables de los RSU y en la separación de residuos peligrosos de los mismos.

- b) Reducción mecánica de volumen

También se conoce como **densificación** debido a que al reducir el volumen, aplicando casi siempre una fuerza o presión manteniéndose la misma masa de residuos, implica un

aumento de la densidad. La mayoría de los vehículos utilizados en la recolección de los RSU, están equipados con sistemas de presión para reducir el volumen (compactación) y aumentar la cantidad de residuos recogidos por viaje (incrementar la capacidad de recolección). El papel, cartón, latas de aluminio y hojalata y plásticos, separados de los RSU para el reciclaje, se embalan para reducir gastos de almacenamiento y manipulación, y gastos de transporte hasta los centros de procesamiento. recientemente se han desarrollado sistemas de compactación a alta presión para producir materiales aptos para diversos usos alternativos, por ejemplo, la producción de troncos para chimeneas a partir de papel y cartón. Para reducir los costos asociados con el transporte de residuos hasta el lugar de evacuación en el vertedero, los municipios también pueden utilizar estaciones de transferencia equipadas con instalaciones de compactación. También para el incremento de la vida útil de los vertederos y rellenos sanitarios, los residuos se compactan antes de cubrirlos.

#### c) Reducción mecánica de tamaño

Reducción de tamaño es el término que se aplica para reducir el tamaño de los materiales residuales. El objetivo de la reducción de tamaño es la obtención de un producto final que sea razonablemente uniforme y considerablemente reducido en tamaño en comparación con su forma original, aunque necesariamente la reducción de tamaño no implica una reducción del volumen, incluso, en algunas ocasiones el volumen del material después de reducido el tamaño pueden ser mayor que el volumen original, como en el caso de la trituración del papel de oficina. En la práctica se emplean los términos desfibrar, triturar,

moler para describir las operaciones mecánicas de reducción de tamaño<sup>11</sup> (Duran H., 1993).

### **2.3.2. TRANSFORMACIONES QUÍMICAS**

Estas transformaciones normalmente implican un cambio de fase, por ejemplo, de sólido a líquido, de sólido a gas, etc (Tchobanoglous, G., Thiesen H. y Vigil, S., 1994). Para reducir el volumen y/o recuperar productos de conversión, los procesos utilizados principalmente para transformar los RSU son:

- a) Combustión (oxidación química).
- b) Pirólisis.
- c) Gasificación.

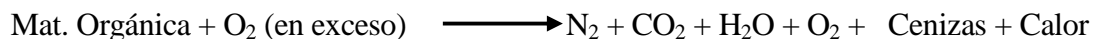
Estos tres procesos son frecuentemente clasificados como procesos térmicos.

- a) Combustión (oxidación química)

La combustión se define como la reacción química del oxígeno con materias orgánicas para producir compuestos oxidados acompañados por emisión de luz y una rápida generación de calor. En presencia de oxígeno en exceso y bajo condiciones idóneas, la combustión de la fracción orgánica de los RSU puede representarse a partir de la siguiente ecuación:

---

<sup>11</sup> DURÁN, H. (1993). Políticas para la gestión ambientalmente adecuada de los residuos: el caso de los residuos sólidos urbanos e industriales en Chile a la luz de la experiencia internacional. CEPAL, Santiago de Chile.



El oxígeno en exceso se emplea para asegurar la combustión total. Los productos finales derivados de la combustión de los RSU incluyen gases calientes de combustión, apareciendo, además de los señalados en la ecuación química anterior, pequeñas cantidades de amoníaco, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y otros gases.

#### b) Pirólisis

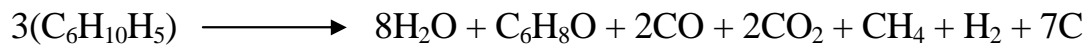
Se produce en un ambiente libre de oxígeno y a través de este proceso las sustancias orgánicas, térmicamente inestables, se rompen en fracciones sólidas, líquidas y gaseosas, mediante una combinación de craqueo térmico y reacciones de condensación en ausencia de oxígeno. A diferencia del proceso de combustión, que es muy exotérmico, el proceso pirolítico es muy endotérmico, por lo que a menudo se emplean las palabras *destilación destructiva* como alternativo de pirólisis.

Los rasgos característicos de las tres fracciones de componentes más importantes que resultan de la pirólisis de la fracción orgánica de los RSU son:

- El flujo de gas que contiene principalmente hidrógeno (H<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y diversos gases, según las características del material orgánico que se piroliza.
- El flujo de alquitrán y/o aceite que es líquido a temperatura ambiente y contiene sustancias químicas ácido acético, acetona y metanol.

- La carbonilla, que está compuesta de carbono casi puro más cualesquiera de los materiales que han entrado en el proceso.

Para la celulosa:



donde  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}$  representa a los compuestos líquidos de alquitrán y/o aceite que se obtienen normalmente.

#### c) Gasificación

Este proceso implica la combustión parcial de un combustible carbonáceo para generar un gas combustible rico en monóxido de carbono, hidrógeno y algunos hidrocarburos saturados, principalmente metano. El gas combustible puede ser quemado en una caldera o en un motor de combustión interna. Cuando el gasificador se opera a presión atmosférica con el oxígeno del aire como oxidante, los productos finales del proceso de gasificación son:

- Un gas de bajo poder calórico que normalmente contiene dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, metano y nitrógeno.
- Carbonilla, que contiene carbono y los inertes originarios del combustible.
- Líquidos condensables similares al aceite pirolítico.

### 2.3.3 TRANSFORMACIONES BIOLÓGICAS

Las transformaciones biológicas de la fracción orgánica de los RSU se pueden utilizar para reducir el volumen y el peso del material; para producir compost (acondicionador del suelo) y para producir metano (combustible). Los principales organismos implicados en las transformaciones biológicas de residuos orgánicos son bacterias, hongos, levaduras (hongos imperfectos) y actinomicetos. Estas transformaciones pueden realizarse aerobia o anaerobiamente según la disponibilidad de oxígeno. Las principales diferencias entre las reacciones biológicas aerobias y anaerobias están en la naturaleza de los productos finales, y en el hecho de que sea necesario suministrar oxígeno para realizar la conversión aerobia (Tchobanoglous, G., Thiesen H. y Vigil, S., 1994).

Los procesos biológicos<sup>12</sup> que se han empleado para la oxidación de la fracción orgánica de los RSU son:

- a) El compostaje aerobio.
- b) La digestión anaerobia.
- c) La digestión anaerobia de sólidos en alta concentración.

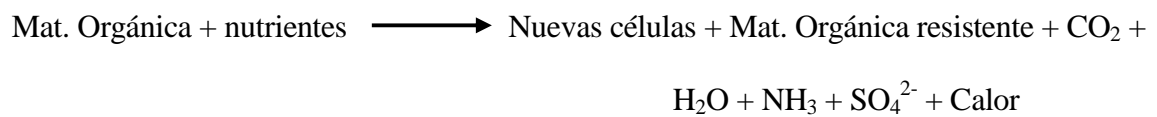
- a) Compostaje aerobio

Si se abandona la fracción orgánica de los RSU sufrirá descomposición biológica. La extensión y el período de tiempo necesario para que se produzca la descomposición dependerá de la naturaleza del residuo, del contenido de humedad, de los nutrientes

---

<sup>12</sup> KIELY, G. (1999). Ingeniería Ambiental. Ed. McGraw-Hill. Madrid.

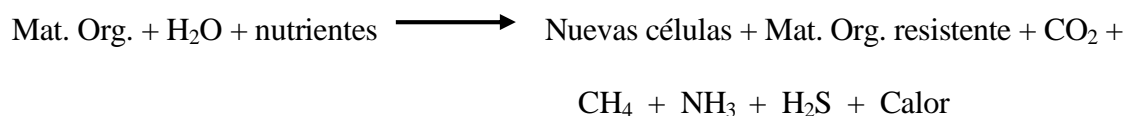
disponibles, y de otros factores ambientales. Bajo condiciones controladas, los residuos de jardín y la fracción orgánica de los RSU se pueden convertir en un residuo orgánico estable conocido como *compost* en un período de tiempo razonablemente corto (4 - 6 semanas). El compostaje de la fracción orgánica de los RSU en condiciones aerobias se puede representar por la siguiente ecuación química<sup>13</sup>:



El compost es la materia orgánica resistente que permanece. La materia orgánica resistente generalmente contiene un alto porcentaje de lignina, que es difícil de transformar biológicamente en un período de tiempo relativamente corto. La lignina, que se encuentra principalmente en el papel periódico, es el polímero orgánico que une las fibras celulósicas de los árboles y algunas plantas. Las ligninas son polifenoles.

#### b) Digestión anaerobia

La porción biodegradable de la fracción orgánica de los RSU se puede convertir biológicamente bajo condiciones anaerobias en un gas que contiene dióxido de carbono y metano. Esta conversión se puede representar en la siguiente ecuación química:




---

<sup>13</sup> INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. (1995). Rellenos Sanitarios para la Disposición de Residuos Sólidos Urbanos. México, D.F.



En la mayoría de los procesos de conversión anaerobia el dióxido de carbono y el metano constituyen más del 99 % del gas total producido. La materia orgánica resistente (o lodos digeridos) debe ser deshidratada antes de evacuarse mediante su extensión en el suelo o en secadores solares. Los lodos deshidratados a veces son compostados aerobiamente para estabilizarlos (oxidarlos) más antes de su aplicación al suelo.

## **2.4. SISTEMA DE RELLENO SANITARIO**

Un sistema de Relleno Sanitario es una técnica de disposición final de los RSU, sin un proceso previo otro que no sea el de la recogida y transportación de los mismos hacia el área del relleno.

La basura se va depositando por capas en las excavaciones practicadas en el terreno, de forma tal, que cada capa, una vez completada según el diseño, es cubierta por la misma tierra salida de la excavación, así se va relleno el terreno excavado capa a capa hasta cubrir toda el área del relleno y llenar toda la profundidad excavada<sup>7</sup> (Tchobanoglous, 1994).

Es una alternativa económicamente viable para la mayoría de las ciudades relativamente pequeñas de los países latinoamericanos, particularmente útil en aquellas en las que no se practica la clasificación previa a un proceso de reciclaje.

---

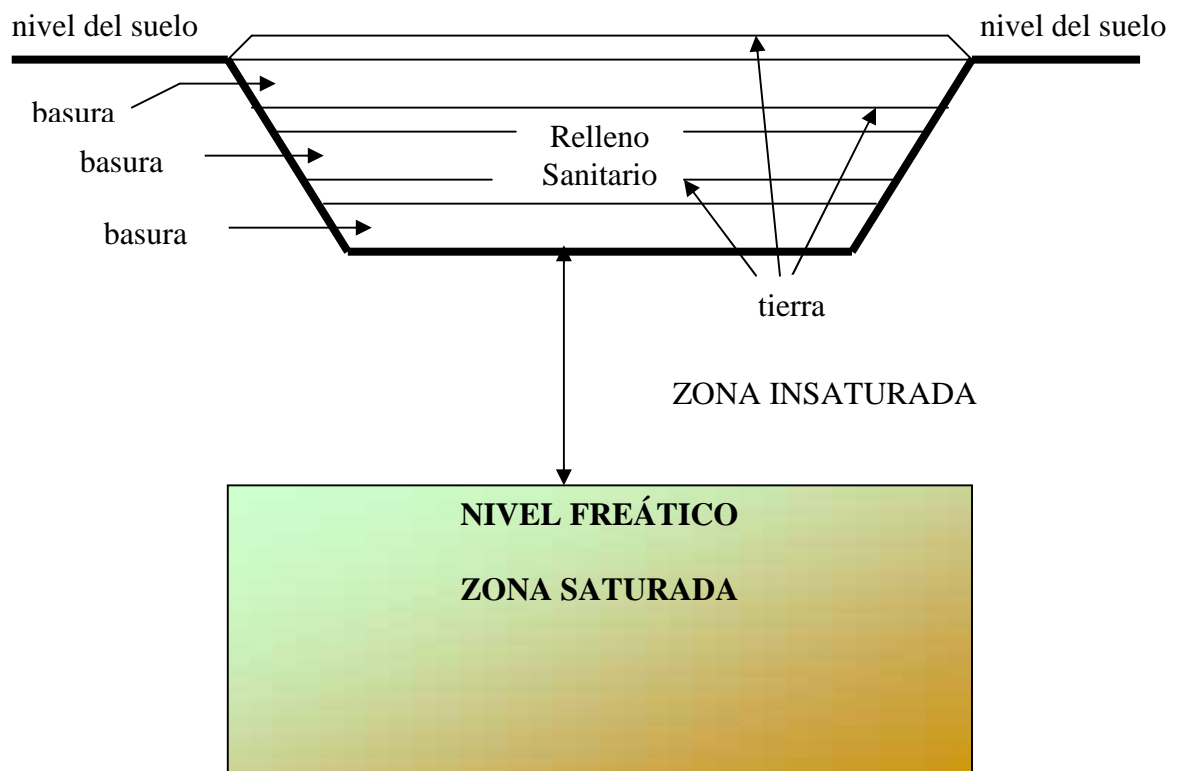
<sup>7</sup>Ibid, Pág. 27

Según Trejo<sup>6</sup> (1996), el Relleno Sanitario es el método de disposición final de los RSU más completo y de menor costo en inversiones que existe, siempre que se cuente con un terreno a bajo costo y también, es uno de los más antiguos, aunque últimamente se le han introducido algunas modificaciones que lo han actualizado y mejorado.

En la Fig. 2.1 se esquematiza al Relleno Sanitario, así como su importante relación con el manto freático y la lluvia.

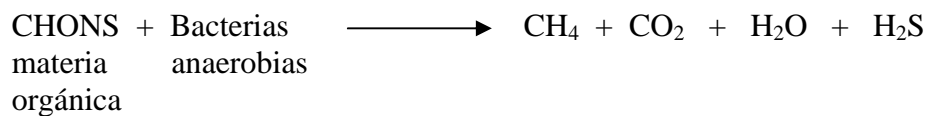
---

<sup>6</sup> Ibid, Pág. 21



**Fig. 2.1.** Esquematización de un sistema de relleno sanitario en relación con el manto freático.

#### 2.4.1. Resumen de la bioquímica del proceso



Esta ecuación es representativa de la reacción biológica del proceso, donde la mezcla de los gases metano, dióxido de carbono, vapor de agua y sulfuro de hidrógeno constituyen el biogás, que tiene un alto poder combustible y, en algunos países se recupera, purifica, comprime y distribuye, para ser utilizado como gas doméstico, de lo contrario hay que dotar al sistema de un dispositivo para quemarlo.

Evidentemente, hay que garantizar la salida del gas del relleno sanitario, lo cual se hace mediante una red subterránea de tuberías perforadas, a través de las cuales se conecta el gas y se conduce hacia el exterior.

#### **2.4.2. Algunas características físicas de los rellenos sanitarios**

Es recomendable el establecimiento de un sistema de Relleno Sanitario para la gestión de los RSU, cuando el freático del agua está muy por debajo del terreno, preferiblemente, al menos un metro por debajo del nivel excavado. Las celdas que constituyen el relleno se excavan con una profundidad de uno a tres metros, con una pendiente de los taludes laterales de 3:1 o de 2:1. La longitud y el ancho dependen de la carga y de la intensidad de las precipitaciones . Así por ejemplo, un Relleno Sanitario en una zona rural de los EE. UU., con cargas de 80 t/d, emplea celdas de 100 m de longitud, 10 m de ancho y 8 m de profundidad; las pendientes de los taludes laterales son de 4:1 con un ancho máximo de 21 m. La capa superior de terreno tiene 0,3 m de profundidad y tiene debajo 30 m de roca roja arcillosa con un grado de permeabilidad de 10 – 9 m/s o más<sup>14</sup>.

#### **2.4.3. Necesidad de área en los rellenos sanitarios**

El área máxima de un Relleno Sanitario se calcula, aproximadamente mediante la ecuación<sup>13</sup> (Kiely, G., 1999):

---

<sup>14</sup> AHERNE, S. (1991). The control of waste operations in North Cork. Proceedings of First Irish Environmental Engineering Conference, University College Cork, Ireland.

<sup>13</sup> Ibid, Pág. 43

$$A_{\max} = \frac{0,1 \ W}{R}$$

Donde:  $A_{\max}$  = superficie máxima de trabajo del relleno.

$R$  = promedio de precipitación anual en m.

$W$  = promedio de entrada anual de residuos en t.

Esto implica una capacidad de absorción de agua de los residuos de 0,1 m<sup>3</sup>/t.

## 2.5. LIXIVIADOS

Se puede definir el lixiviado como el líquido que se filtra a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión. En la mayoría de los vertederos el lixiviado está formado por el líquido que entra en el vertedero desde fuentes externas (drenaje superficial, lluvia, aguas subterráneas, aguas de manantiales subterráneos), y en su caso el líquido producido por la descomposición de los residuos, si hay.

Al filtrarse el agua a través de los residuos sólidos en descomposición, se lixivian en solución materiales biológicos y constituyentes químicos. En el cuadro 2.7 se presentan datos representativos sobre las características de los lixiviados en vertederos nuevos y antiguos. Como el rango de los valores de concentración observados para varios constituyentes presentados en el Cuadro 2.7 es bastante grande, especialmente en vertederos nuevos, se debe tener mucho cuidado en la utilización de los diversos valores que se presentan.

Debido a esto, es necesario disponer de impermeabilizadores del suelo de fondo del relleno, las paredes o taludes del mismo, así como dotar al sistema de facilidades para la recolección de los lixiviados y poderlos transportar hasta una planta de tratamiento para la estabilización de los mismos, ya que poseen elevados valores de los principales parámetros indicadores de la contaminación, particularmente, sólidos disueltos, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y metales pesados, entre otros<sup>15, 3, 7</sup>.

---

<sup>15</sup> PFEFFER, J., ISAACSON, R. (1993). Biochemical conversion of municipal solid waste: A technology status report. Gas Research Institute. Univ. de Illinois. Urbana.

<sup>3</sup> Ibid, Pág. 10

<sup>7</sup> Ibid, Pág. 23

**Cuadro No. 2.7.** Datos típicos sobre la composición de los lixiviados procedentes de vertederos nuevos y maduros.

CONSTITUYENTE	Valor, mg/L <sup>a</sup>		
	Vertedero nuevo (menos de 2 años)	Vertedero maduro (mayor de 10 años)	
	RANGO	TÍPICO	
DBO <sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno de 5 días a 20 °C)	2.000-30.000	10.000	100-200
COT (Carbono Orgánico Total)	1.500-20.000	6.000	80-160
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	3.000-60.000	18.000	100-500
Sólidos Suspendidos Totales	200-2.000	500	100-400
Nitrógeno orgánico	10-800	200	80-120
Nitrógeno amoniacal	10-800	200	20-40
Nitrato	5-40	25	5-10
Fósforo Total	5-100	30	5-10
Ortofosfato	4-80	20	4-8
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	1.000-10.000	3.000	200-1.000
pH	4,5-7,5	6	6,6-7,5
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	300-10.000	3.500	200-500
Calcio	200-3.000	1.000	100-400
Magnesio	50-1.500	250	50-200
Potasio	200-1.000	300	50-400
Sodio	200-2.500	500	100-200
Cloro	200-3.000	500	100-400
Sulfatos	50-1.000	300	20-50
Hierro total	50-1.200	60	20-200

Fuente: Tchobanoglous, G. Theisen H. Y Vigil S. (1994). Ed. McGraw-Hill. Ciudad México

<sup>a</sup>Adaptado de Ham (1974) y Lang et al. (1987).

Hay que resaltar que la composición química de los lixiviados variará mucho según la antigüedad del vertedero y la historia previa al momento de muestreo. Por

ejemplo, si se toma una muestra de los lixiviados durante la fase ácida de la descomposición, el pH será bajo y las concentraciones de  $\text{DBO}_5$ , carbono orgánico total (COT), nutrientes y metales pesados serán altas. Por otro lado, si se recoge una muestra de los lixiviados durante la fase de fermentación del metano, el pH estará dentro del rango de 6,5 a 7,5, y los valores de concentración de  $\text{DBO}_5$ , COT, DQO y de los nutrientes serán significativamente más bajos. Similarmente, serán más bajas las concentraciones de metales pesados porque la mayoría de los metales son menos solubles para valores de pH neutros. El pH del lixiviado dependerá no solamente de la concentración de los ácidos que están presentes, sino también de la presión parcial del  $\text{CO}_2$  en el gas de vertedero que está en contacto con el lixiviado.

La biodegradabilidad del lixiviado variará con el tiempo. Se pueden supervisar los cambios en la biodegradabilidad del lixiviado, mediante el control de la relación de  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$ . Inicialmente, las relaciones estarán en el rango de 0,5 o más. Las relaciones en el rango de 0,4 a 0,6 se toman como un indicador de que la materia orgánica en los lixiviados es fácilmente biodegradable. En los vertederos antiguos, la relación  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  está a menudo en el rango de 0,05 a 0,2. La relación cae porque los lixiviados procedentes de vertederos antiguos normalmente contienen ácidos húmicos y fúlvicos, que no son fácilmente biodegradables.

### **2.5.1. Manejo ambiental de los lixiviados**

Los estanques de estabilización están constituidos por procesos biológicos empleados en el tratamiento de los lixiviados de los rellenos sanitarios. Entre ellos, uno de los más



empleados es la laguna aerobia-anaerobia, con aireadores para garantizar el oxígeno disuelto necesario en el líquido.

### **Análisis y diseño del proceso**

De todos los procesos de tratamiento biológico, el diseño del proceso de los estanques de estabilización es posiblemente el menos definido. Los métodos que se contemplan en la literatura son numerosos, pero cuando se aborda la correlación entre ellos se presentan grandes diferencias. La mayor parte de los datos se han obtenido gracias a la experiencia con una gran variedad de estanques individuales y sistemas de lagunaje. En lo que sigue se comentan algunos métodos propuestos para el diseño de estanques de estabilización aerobios-anaerobios, es decir, con aireadores incorporados y profundidades por sobre los 1,2 metros.

**Estanques aerobios.** El proceso de diseño se suele basar en las cargas orgánicas y los tiempos de detención hidráulica. Los sistemas de grandes dimensiones se suelen diseñar como reactores de mezcla completa, utilizando dos o tres reactores conectados en serie. Una segunda posibilidad es utilizar la siguiente ecuación de velocidad de eliminación de primer orden, para un reactor con esquema de flujo arbitrario (entre mezcla completa y flujo en pistón):

$$\frac{S}{S_0} = \frac{4a \exp(1/2d)}{(1+a)^2 \exp(a/2d) - (1-a)^2 \exp(-a/2d)}$$

donde  $S$  = concentración de sustrato ( $\text{DBO}_5$ ) en el efluente.

$S_0$  = concentración de sustrato ( $\text{DBO}_5$ ) en el afluente.

$$a = \sqrt{1 + 4krd}$$

$d$  = factor de dispersión =  $D/uL$ .

$u$  = velocidad del fluido, m/h.

$D$  = coeficiente de dispersión axial,  $\text{m}^2/\text{h}$ .

$L$  = longitud característica, m.

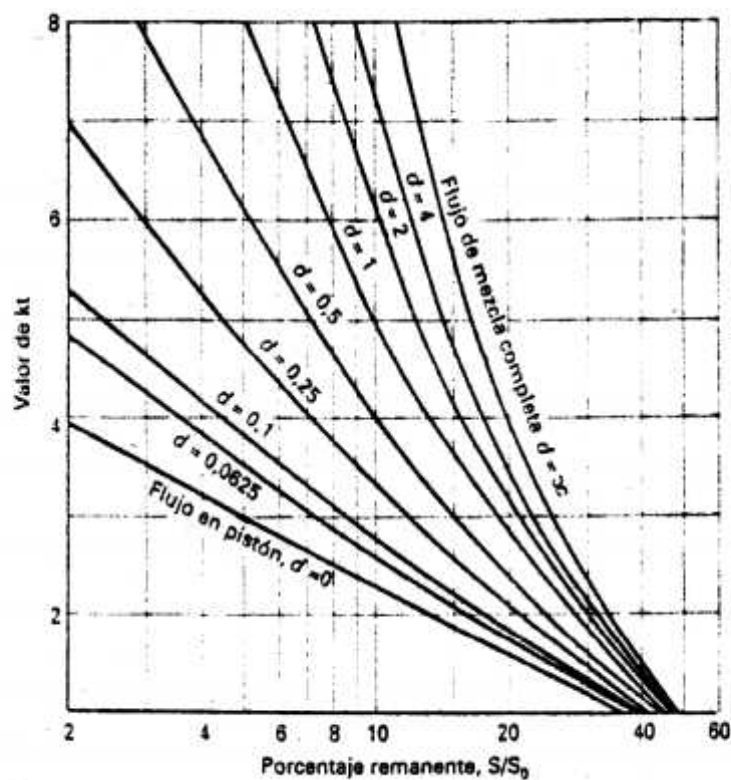
$k$  = constante de reacción de primer orden,  $1/\text{h}$ .

$t$  = tiempo de detención, h.

Para facilitar la aplicación de la Ecuación anterior a los tanques de estabilización, Thirumurthi<sup>16</sup> desarrolló la gráfica de la Figura 2.2, en la que se representa el término  $(k t)$  frente a la relación  $S/S_0$  para diferentes factores de dispersión entre 0 (correspondiente a un reactor de flujo en pistón ideal) hasta infinito (correspondiente a un reactor de mezcla completa). Para la mayoría de los tanques de estabilización, los factores de dispersión se hallan en el intervalo entre 0.1 y 2.0. Debido a que para la consecución de un mejor rendimiento es necesario mezclar el contenido del tanque de estabilización, se ha estimado como valor típico del coeficiente de dispersión el valor 1.0. Los valores típicos de la constante de eliminación de  $\text{DBO}_5$  de primer orden ( $k$ ) varían entre 0.05 y 1.0 al día, en función de las características hidráulicas y operacionales  $d$ .

---

<sup>16</sup> THIRUMURTHI, D. (1969). Design of waste stabilization ponds. J. San. Div., ASCE, vol. 95, No. 42. New York



**Fig. 2.2.** Valores del término  $kt$  de la ecuación de Wenner y Wilhelm respecto al porcentaje

## 2.6. GAS DE VERTEDERO

Se puede conceptualizar un vertedero de residuos sólidos como un reactor bioquímico, con residuos y agua como entradas principales, y con gases de vertedero y lixiviado como principales salidas. El material almacenado en el vertedero incluye: material orgánico parcialmente biodegradado y otros materiales inorgánicos de los residuos originalmente colocados en el vertedero. Se emplean los sistemas de control de los gases del vertedero para prevenir el movimiento indeseable hacia la atmósfera de los gases del vertedero, o

el movimiento lateral o vertical a través del suelo circundante<sup>7</sup>. Se puede utilizar el gas recuperado del vertedero para producir energía, o se puede quemar, bajo condiciones controladas, para disminuir la emisión de constituyentes dañinos a la atmósfera.

### **2.6.1. Composición y características del gas de vertedero**

El gas de vertedero está compuesto de varios gases que están presentes en grandes cantidades (gases principales) y de varios gases que están presentes en pequeñas cantidades (oligogases). Los gases principales proceden de la descomposición de la fracción orgánica de los RSU. Algunos de los oligogases, aunque presentes en pequeñas cantidades, pueden ser tóxicos y podrían presentar riesgos para la salud pública.

### **2.6.2. Constituyentes principales del gas de vertedero**

Los gases que se encuentran en los vertederos incluyen amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y oxígeno ( $\text{O}_2$ ). En el cuadro 2.8 se presentan las distribuciones porcentuales típicas de los gases que se encuentran en un vertedero de RSU. El metano y el dióxido de carbono son los principales gases procedentes de la descomposición anaerobia de los componentes biodegradables de los residuos orgánicos en los RSU. Cuando el metano está presente en el aire en concentraciones de entre el 5 y el 15 por 100, es explosivo. Como en el vertedero sólo están presentes cantidades limitadas de oxígeno, cuando las concentraciones de metano llegan a ese nivel crítico hay poco peligro de que el vertedero vaya a explotar. Sin embargo, pueden formarse

---

<sup>7</sup> Ibid, Pág. 23

mezclas de metano que están dentro del rango explosivo si el gas del vertedero migra fuera del lugar y se mezcla con el aire<sup>7</sup>. La concentración de los gases que pueden escaparse en el lixiviado dependerá de su concentración en la fase gaseosa cuando se pone en contacto con el lixiviado, ésta se estima utilizando la Ley de Henry.

**Cuadro 2.8.** Constituyentes típicos encontrados en el gas de vertedero de RSU.

COMPONENTE	PORCENTAJE EN VOLUMEN <sup>a</sup> (% <sub>vol</sub> )
Metano	45-60
Dióxido de carbono	40-60
Nitrógeno	2-5
Oxígeno	0,1-1,0
Sulfuros, bisulfuros, mercaptanos, etc.	0-1,0
Amoníaco	0,1-1,0
Hidrógeno	0-0,2
Monóxido de carbono	0-0,2
Constituyentes en cantidades traza	0,01-0,6
<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>VALOR</b>
Temperatura	37-67 °C
Densidad específica	1,02-1,06
Contenido en humedad	Saturado
Poder calorífico superior, kcal/m <sup>3</sup>	890-1.223

Fuente: Tchobanoglous, G. Theisen H. Y Vigil S. (1994). Ed. McGraw-Hill. Ciudad México

<sup>a</sup>Adaptado de Ham (1974) y Lang et al. (1987).

La distribución porcentual exacta variará según la antigüedad del vertedero.

### 2.6.3. Generación del gas de vertedero

En la siguiente exposición se tratan estos temas: la generación de los principales gases

<sup>7</sup> Ibid, Pág.23

del vertedero, la variación en la tasa de generación frente al tiempo, y los orígenes de los oligogases en los vertederos.

#### *2.6.3.1. Generación de los principales gases del vertedero*

Se considera que la generación de los principales gases del vertedero se produce en cinco o menos fases secuenciales. A continuación se describe cada una de estas fases<sup>17</sup>.

#### **FASE I: AJUSTE INICIAL.**

La fase I es la fase de ajuste inicial, en la que los componentes orgánicos biodegradables de los RSU sufren descomposición microbiana mientras se colocan en un vertedero y poco después. En la fase 1, se produce descomposición biológica bajo condiciones aerobias, porque hay cierta cantidad de aire atrapado dentro del vertedero. La fuente principal de organismos tanto aerobios como anaerobios, responsables de la descomposición de los residuos es el material del suelo que se utiliza como cubrición diaria y final.

#### **FASE II: FASE DE TRANSICIÓN.**

En la fase II, identificada como fase de transición, desciende el nivel de oxígeno y comienzan a desarrollarse condiciones anaerobias. Mientras el vertedero se convierte en anaerobio, el nitrato y el sulfato, que pueden servir como receptores de electrones en

---

<sup>17</sup> CHRISTENSEN, T.H. y KJELDSSEN P. (1989). 2.1. Basic Biochemical Process in Landfills. En T.H. Christensen, R. Cossu y P. Stegmann (Eds): Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact, Academy Press, Harcourt Brace, Jovanovich, Londres, England.

reacciones de conversión biológica, a menudo se reducen a gas nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. Comienza a producirse cantidades despreciables de gas metano.

### **FASE III: FASE ÁCIDA.**

En la fase III, fase ácida, se acelera la actividad microbiana iniciada en la fase anterior con la producción de cantidades significativas de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas de hidrógeno. El primer paso en el proceso de tres pasos implica la transformación, mediada por enzimas (hidrólisis), de compuestos con alto peso molecular (por ejemplo, lípidos, polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos) en compuestos aptos para ser utilizados por los microorganismos como fuentes de energía y de carbono celular. El segundo paso en el proceso (acidogénesis) implica la conversión microbiana de los compuestos resultantes del primer paso en compuestos intermedios de bajo peso molecular, como son el ácido acético y pequeñas concentraciones de ácido fúlvico y otros ácidos más complejos. El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es el principal gas generado durante la fase III. También se producirán cantidades más pequeñas de gas de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ). Los microorganismos implicados en esta conversión, llamados colectivamente no metanogénicos, son las bacterias anaerobias facultativas y obligadas. A menudo se identifican estos microorganismos en la literatura de ingeniería como ácidogénicos o formadores de ácido.

#### **FASE IV: FASE DE FERMENTACIÓN DEL METANO.**

En la fase IV, la fase de fermentación del metano, un segundo grupo de microorganismos que convierten el ácido acético y el gas de hidrógeno producidos por los formadores de ácidos en la fase ácida en  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ , llegan a ser más predominantes. En algunos casos, estos organismos comenzarán a desarrollarse hacia el final de la fase III. Los microorganismos responsables de esta conversión son estrictamente anaerobios y se llaman metanogénicos. Colectivamente, se identifican en la literatura como metanogénicos o formadores de metano. En la fase IV la formación de metano y ácido se produce simultáneamente, aunque la velocidad de formación de ácidos es considerablemente más reducida.

#### **FASE V: FASE DE MADURACIÓN.**

La fase de maduración, se produce después de convertirse el material inorgánico biodegradable en  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  durante la fase IV. Mientras la humedad sigue migrando a través de los residuos, se convierten porciones del material biodegradable que anteriormente no estaban disponibles. Durante la fase V la velocidad de generación del gas de vertedero disminuye significativamente, porque la mayoría de los nutrientes disponibles se han separado con el lixiviado durante las fases anteriores, y los sustratos que quedan en el vertedero son de degradación lenta. Los principales gases de vertedero que han evolucionado en la fase V<sup>7</sup> son  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  (Tchobanoglous, G., Thiesen H. y Vigil, S. (1994).

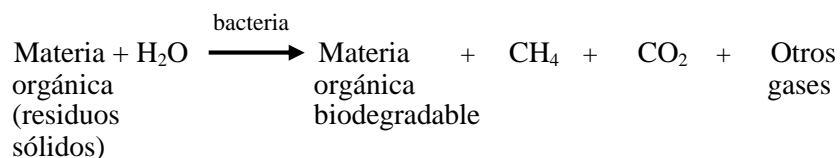
---

<sup>7</sup> Ibid, Pág. 23



## VOLUMEN DEL GAS PRODUCIDO

La reacción química generalizada para la descomposición anaerobia de residuos sólidos puede escribirse de la forma siguiente:



Hay que resaltar que la reacción requiere la presencia de agua. Se han encontrado vertederos que carecen de un contenido de humedad suficiente en un estado “momificado”, con papel de periódico de hace décadas en condiciones legibles. Entonces, aunque la cantidad total del gas que se produce a partir de residuos sólidos se derive directamente de una reacción estequiométrica, las condiciones hidrológicas locales afectan significativamente a la velocidad y al período de tiempo en el que tiene lugar la producción del gas.

En el Cuadro No. 2.9. se presentan las concentraciones promedio en porcentaje en volumen de los principales constituyentes de los gases de vertedero, según la edad de la celda en meses.

**Cuadro No. 2.9.** Distribución porcentual de los gases de vertedero observados durante los primeros 48 meses después de la clausura de una celda de vertedero<sup>a</sup>.

Intervalo temporal desde el llenado de la celda, meses	Promedio, porcentaje por volumen (% <sub>vol</sub> )		
	Nitrógeno, N <sub>2</sub>	Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub>	Metano, CH <sub>4</sub>
0-3	5,2	88	5
3-6	3,8	76	21
6-12	0,4	65	29
12-18	1,1	52	40
18-24	0,4	53	47
24-30	0,2	52	48
30-36	1,3	46	51
36-42	0,9	50	47
42-48	0,4	51	48

<sup>a</sup>Tomado de Ham (1974) y Lang et al. (1987).

En general, se pueden dividir los materiales orgánicos presentes en los residuos sólidos en dos clasificaciones: 1) aquellos materiales que se descomponen rápidamente (tres meses a cinco años) y 2) aquellos materiales que se descomponen lentamente (hasta 50 años o más). En el Cuadro No. 2.10 se identifican los componentes de la fracción orgánica de los RSU de descomposición lenta y rápida.

La fracción biodegradable de los residuos orgánicos depende en gran medida del contenido de lignina de los residuos.

**Cuadro No. 2.10.** Constituyentes orgánicos rápidamente y lentamente biodegradables en los RSU

Componente de residuos orgánicos	Rápidamente biodegradable	Lentamente biodegradable
Residuos de comida	sí	
Periódicos	sí	
Papel de oficina	sí	
Cartón	sí	
Plásticos <sup>a</sup>		
Textiles		sí
Goma		sí
Cuero		sí
Residuos de jardín		sí
Madera		sí
Orgánicos misceláneos		sí

Fuente: Tchobanoglous, G. Theisen H. Y Vigil S. (1994). Ed. McGraw-Hill. Ciudad México

<sup>a</sup> Los plásticos generalmente son considerados como no biodegradables.

## 2.7. REUTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

### EL RECICLAJE EN EL ECUADOR

En nuestro país y especialmente en la ciudad de Quito, el reciclaje comenzó como una actividad de sobrevivencia hace unos 40 años atrás; cuando las personas de más bajos recursos acudían a los botaderos de basura para recuperar artículos de valor que habían sido extraviados, posteriormente se dieron cuenta, que también les podía proporcionar ciertos artículos necesarios para sus familias, tales como ropa usada que podían utilizar por un tiempo más, muebles usados, etc.

De esta forma fueron apareciendo los minadores o chamberos en los botaderos y los minadores de las calles; posteriormente, el adelanto tecnológico industrial y el costo elevado de la materia prima para elaborar determinados productos demandados, hizo que parte de esta materia prima fuera reemplazada por los materiales que podían ser recuperados y que mediante un determinado proceso (reciclaje) pasaban a formar parte de los nuevos procesos productivos para la elaboración de nuevos productos, en base a los materiales recuperados.

## **RECICLAJE**

Una de las acciones ecológicas más importante que podemos realizar todos para preservar el equilibrio natural y mantener un ambiente limpio y sano es el reciclaje.

Reciclaje es separar aluminio, vidrio, papel, plástico y materia orgánica en todo aquello que desechamos y que conforma nuestros desperdicios o basura. Y también con esto contribuimos a:

- Disminuir la contaminación
- Ahorrar energía
- Ahorrar recursos
- Alargar la vida de los materiales aunque sea con diferentes usos
- Evitar la reforestación y para mayor comodidad reducir el 80 % del espacio que ocupan los desperdicios al convertirse en basura
- Disminuir el pago de impuestos por recolección de basura
- Ayudar a que la recolección sea más fácil.

Teniendo en cuenta la composición media de nuestros residuos, se puede afirmar que anualmente tiramos a la basura miles de toneladas de metales, de vidrio, de papel y cartón y otras tantas de materia orgánica, cifras que representan porcentajes muy importantes de la producción de dichos materiales.

Pero no sólo perderemos estos recursos, sino que, al no hacer uso de la industria de la recuperación, el consumo de materias primas y energía va en constante aumento con el consiguiente efecto sobre la economía nacional.

### **Reciclaje del Metal**

De los metales que existen, la mayor parte pueden ser fundidos y volver a procesarse para crear metales. De los desperdicios que producimos diariamente, el 10% lo constituyen los metales. Los metales reciclables son: Tapas de Metal, Botones de metal, Latas de cerveza y de bebidas, Bolsa interior de leche en polvo, Latas de conserva, Pasadores de pelo, Alfileres, Grapas, Papel aluminio, Cacerolas de aluminio, Alambre, Ganchos de ropa, Latas de conserva, etc.

### **Reciclaje del Vidrio**

El vidrio se clasifica de acuerdo a su color, los más comunes son: verde, azul y transparente. Una tonelada de vidrio (frascos) cuando es reutilizada varias veces ahorra 117 barriles de petróleo. El vidrio nuevo es 100 % reciclable. El uso de botellas retornables o rellenables ayudarían a reducir la contaminación en 20 %.

El reciclado de vidrio produce al país una serie de beneficios derivados de:

- La no extracción de materias primas pues por cada tonelada de envases de vidrio usado que se recicla se ahorran 1,2 toneladas de materias primas.
- El menor consumo de energía que se produce a través de dos conductos distintos: por la no extracción de materias primas y por la menor temperatura a que han de trabajar los hornos. Se estima que cada tonelada de envases de vidrio usados ahorra 130 kg. de fuel.
- La disminución del volumen de residuos que han de recoger y eliminar las municipalidades.

### **Reciclaje del Papel y cartón**

Dentro de los desperdicios mejor valorados se encuentran el papel y el cartón. Si todos contribuyéramos al reciclaje de papel y cartón salvaríamos el 33 % de energía que se necesita para producirlos. Típicamente son: Hojas y cuadernos, Desperdicios de papel, Cajas de cartón, Etiquetas de cartón, Cartones de huevo, Etiquetas de papel, Periódicos y fotografías, Envolturas de papel, Papel encerado, Revistas, Papel celofán, Tetra pack, Invitaciones, etc.

La potenciación de la recogida selectiva de papel no sólo nos ayudaría a dar alimento a quienes trabajan en su recolección, sino que además aportaría otra serie de beneficios como:

- Conservación de recursos forestales: los casi 21 millones de toneladas de papel y cartón usados que se han recuperado En los últimos 19 años han evitado cortar

unos 300 millones de árboles que ocuparían medio millón de hectáreas de monte

- Ahorro energético: el proceso de fabricación de papel y cartón a partir de fibras celulósicas recuperables supone un ahorro de energía del 70 %, 390.000 t de petróleo al año.
- Ahorro por disminución de basuras: los municipios recogen y eliminan anualmente alrededor de dos millones de toneladas de papel y cartón contenidas en las bolsas de basura. Si el ciudadano hace una selección previa, esta materia prima será aprovechada por la industria papelera al tiempo que las municipalidades, al tener que recoger y eliminar menor cantidad de basura, reducirían los costos de este servicio.

## **Conservación del medio ambiente.**

### **Materia orgánica**

El 40 % de los desperdicios que producimos es materia orgánica. En poco tiempo, a partir de que los desechamos, comienzan un proceso de descomposición produciendo mal olor y gas metano (efecto invernadero) al entrar en contacto con otros desperdicios. Se define como material orgánico a todo aquello que alguna vez tuvo vida. Los más conocidos son: Huesos, Desperdicios de comida, Pedazos de madera, Desperdicios de fruta y verdura, Desperdicios de pollo, carne y pescado, Estropajos, Lápices, Cascarones de huevo, Basura de la aspiradora, Cenizas, etc.

## EL COMPOSTAJE

El compostaje es un proceso de descomposición biológica de la materia orgánica contenida en la basura en condiciones controladas. Se recupera la fracción orgánica para su empleo en la agricultura, lo que implica una vuelta a la naturaleza de las sustancias de ella extraídas.

El material resultante del proceso, llamado compost, no es enteramente un abono, aunque contiene nutrientes y oligoelementos, sino más bien un regenerador orgánico del terreno, razón por la que se le ha denominado **abono orgánico**.

Sus efectos positivos sobre el suelo son:

- Suelta los terrenos compactos y compacta los demasiado sueltos.
- Favorece el abonado químico al evitar la percolación.
- Aumenta la capacidad de retención de agua por el suelo.
- Es fuente de elementos.
- Aumenta el contenido de materia orgánica del suelo.

Esta última acción es fundamental en los suelos con déficit en materia orgánica. Como resumen, podemos decir del compost que: tiene doble carácter, de enmienda y abono orgánico. Es aséptico, libre de bacterias patógenas, semillas, huevos de acarios, larvas, etc., pero con intensísima vida bacteriana que activa los procesos bioquímicos del suelo. Sus elementos nutritivos están en forma de humus, fácilmente asimilable. Mejora química, física y biológicamente el suelo, ahorrando fertilizantes, pero no sustituyéndolos.



**Plásticos:**

Dentro de la clasificación de los plásticos existen 50 diferentes tipos, los mismos que se describieron anteriormente

Al realizar la separación se debe tomar en cuenta que los desperdicios deben ir limpios y secos, además, dado que el 80% del volumen de la basura es ocupado por aire, es preciso desbaratar las cajas de cartón y aplanarlas.

El papel se puede reciclar hasta seis veces y reusarse, para ello debe separarse tomando en cuenta si es papel blanco, de color, comercial, periódico o cartón. Lo mismo sucede con el vidrio, el cual se separa según su color en: transparente o claro, ámbar, azul y verde.

Una vez realizada la separación existen centros de acopio lucrativos y no lucrativos, encargados de enviar los materiales a plantas recicladoras, las cuales elaborarán nuevos productos, destinados al consumo.

Es tarea de todos fomentar y practicar los hábitos del reciclaje y reutilización de los residuos sólidos, poniendo en práctica la compra de productos con el emblema del reciclaje, evitar al máximo la compra de productos sobre empaquetados, elegir empaques naturales, de cartón, papel o vidrio, disminuir la cantidad de plásticos utilizada.

El reciclaje ha sido practicado por industrias estadounidenses, alemanas, japonesas, canadienses, daneses, francesas, y de otros países hace más de 20 años. En Alemania, el

país productor de mayor cantidad de basura en Europa, las leyes obligan a las industrias a reciclar parte de sus desechos. Como el proceso es muy costoso, las industrias están luchando por conseguir que parte de ese costo sea pagado por el consumidor.

Los productos de mayor demanda para ser reciclados se clasifican en celulósicos como papeles y cartones; fibras textiles de algodón, seda y lino; vidrio, plásticos y metales, principalmente aluminio y hierro. El más solicitado es el papel.

## **2.8. MARCO LEGAL**

La Constitución Política del Ecuador, dictada por la Asamblea Nacional Constituyente, vigente desde el año 1998, establece en el Capítulo 2, de los derechos civiles, en el artículo 23, numeral 6, lo siguiente:

*El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación. La ley establecerá las restricciones al ejercicio de determinados derechos y libertades, para proteger el medio ambiente.*

Anteriormente, el Ministro de Salud Pública, mediante Acuerdo Ministerial No. 14630, publicado en el Registro Oficial No. 991 de 3 de agosto de 1992, expide el Reglamento para el Manejo de los Desechos Sólidos, el mismo que hasta el presente se encuentra vigente, sin recibir variación alguna.

El reglamento citado tiene el objetivo de regular los servicios de almacenamiento, barrido, recolección, transporte, disposición final y demás aspectos relacionados con los

desechos sólidos, cualquiera sea la actividad o fuente de generación, de conformidad con las disposiciones del Código de Salud, de la ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, del Código de Policía Marítima y la Ley de Régimen Municipal.

A continuación se citarán los artículos del citado Reglamento que se refieren a los desechos sólidos:

Art. 4: Del manejo de desechos sólidos.

El manejo de los desechos sólidos comprende las siguientes actividades:

- Producción y almacenamiento
- Entrega
- Recolección
- Transporte
- Transferencia
- Tratamiento
- Disposición final
- Barrido y limpieza de vías públicas
- Recuperación
- Educación Ambiental

En la ciudad de Guano no se realizan ni transferencia, ni tratamiento, ni recuperación, ni Educación Ambiental, mientras las restantes fases se realizan sin suficientes criterios

técnicos.

Art. 5: De las clases de servicio.

Para efectos de este reglamento, el servicio de manejo de desechos sólidos se clasifica en dos modalidades:

- a. Servicio ordinario y,
- b. Servicio especial.

Art. 6: Del servicio ordinario.

La prestación del servicio ordinario tendrá como objetivo el manejo de las siguientes clases de basura:

- a) Basuras domiciliarias
- b) Basuras que por su naturaleza, composición, tamaño y volumen pueden ser incorporadas en su manejo, por la entidad de aseo y, a su juicio de acuerdo con su capacidad.
- c) Basuras que se producen en la vía pública.
- d) Basuras no incluidas en el servicio especial.

Art. 7: Del servicio especial.

La prestación del servicio especial tendrá como objetivo el manejo de las siguientes basuras:

- a) Basuras patógenas, tóxicas, combustibles, inflamables, explosivas, radioactivas y volatilizables.
- b) Basuras que por naturaleza, composición, tamaño y volumen deben considerarse como especiales a juicio de la entidad de aseo de acuerdo con su capacidad.
- c) Empaques o envases de productos químicos de cualquier naturaleza, en especial de plaguicidas y de preparaciones de uso agrícola o pecuario.
- d) Basuras que por su ubicación, presten dificultades en su manejo por inaccesibilidad de los vehículos recolectores.

De investigaciones previas realizadas en la ciudad de Guano, se deduce que la localidad sólo cuenta con un servicio ordinario de recolección.

Art. 8: De la responsabilidad en materia de Desechos Sólidos.

El manejo de las basuras en todo el país será responsabilidad de las municipalidades de acuerdo a la Ley de Régimen Municipal y el Código de la Salud. Las municipalidades o personas responsables del servicio de aseo de conformidad con las normas administrativas correspondientes podrán conceder y coordinar con otras entidades.

La contratación o concesión para la prestación del servicio a que hace referencia este artículo, no libera a las municipalidades de su responsabilidad y deberán ejercer un severo control de las actividades del manejo.

La Ilustre Municipalidad de Guano es la responsable de la prestación de este servicio y,

se lo ha asignado a la Comisaría Municipal.

## DE LA DISPOSICIÓN FINAL SANITARIA DE LOS DESECHOS SÓLIDOS

Art. 71: De la disposición sanitaria de Desechos Sólidos.

La disposición sanitaria de Desechos Sólidos correspondiente al servicio ordinario deberá someterse a lo dispuesto en el Código de la Salud y en la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y sus reglamentos.

Art. 72: De la selección de sitios y técnicas para la disposición sanitaria de los desechos sólidos.

Los municipios expedirán las regulaciones técnicas necesarias para el manejo y disposición sanitaria de los desechos sólidos en el servicio ordinario. Para el efecto, en base del informe técnico del IEOS sobre el estudio de impacto ambiental que obligatoriamente presentará el respectivo municipio y el informe técnico del Ministerio de Agricultura y Ganadería, el Ministerio de Salud Pública emitirá su informe, de acuerdo con el cual deberán expedirse las indicadas regulaciones.

Según investigaciones previas, la ciudad de Guano no cuenta con regulaciones técnicas para el manejo y disposición sanitaria de los desechos.

Art. 73: De la prohibición de disponer o abandonar basura a cielo abierto, en vías

públicas, en cuerpos de agua, etc.

A partir de la vigencia de este Reglamento se prohíbe la disposición o abandono de desechos sólidos, cualquiera sea su procedencia, a cielo abierto, en patios, predios, viviendas, en vías o áreas públicas y en los cuerpos de agua superficiales o subterráneas.

Art. 74: De los requisitos para los sitios de disposición de desechos sólidos.

Todo sitio para la disposición sanitaria de desechos sólidos provenientes del servicio ordinario deberá cumplir como mínimo los siguientes requisitos:

- a) Estar aislados de centros poblados, para garantizar la no interferencia con actividades diferentes a las allí realizadas y evitar efectos nocivos a la salud de las personas y medio ambiente.
- b) Tener cerramiento adecuado.
- c) Tener rótulos y avisos que lo identifiquen en cuanto a las actividades que él se desarrollan; entrada y salida de vehículos; horarios de operación o funcionamiento, medidas de prevención para casos de accidentes y emergencias y, prohibición expresa de acceso a personas distintas a las comprometidas en las actividades que allí se realicen.

## 2.9. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

- a) Los problemas ambientales de la Ciudad de Guano, particularmente los del río del mismo nombre y su entorno, están asociados directamente con las acciones del hombre en su afán de ampliar las fronteras agrícolas para fines de subsistencia o mejoría económica, en especial la actividad que concierne a este caso, es decir, la generación cada vez más creciente y la disposición ambientalmente deficiente de los RSU<sup>18, 19</sup>. Estas actividades han dado como resultado la alteración y desequilibrio de los ecosistemas naturales de las subcuencas.

Uno de los métodos más empleados para la evaluación del impacto ambiental es el descrito y sistematizado por Leopold<sup>19</sup>, que consiste en una matriz en la que en las filas se colocan los factores ambientales que pudieran ser afectados y en las columnas las acciones que los afectan.

Este método puede aplicarse, con algunas modificaciones, al manejo territorial de un determinado recurso natural, como lo es al agua.

Los siguientes elementos han sido seleccionados para el planteamiento de la matriz de evaluación:

---

<sup>18</sup> PAEZ, J.C. (1998). Introducción a la evaluación del impacto ambiental. CAAM. Quito.

<sup>19</sup> ESTEVAN, M.T. (1984). Evaluación del Impacto Ambiental. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.



***FACTORES AMBIENTALES:***

**A. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS**

**A.1. Tierra**

- a) Material de construcción
- b) Suelos

**A.2. Agua**

- a) Superficiales
- b) Subterráneas
- c) Calidad

**A.3. Atmósfera**

Calidad (olores)

**A.4. Procesos**

- a) Inundaciones
- b) Erosión
- c) Sedimentación y precipitación
- d) Solución
- e) Sorción (intercambio de iones complejos)
- f) Compactación y asentamientos
- g) Estabilidad

## **B. CONDICIONES BIOLÓGICAS**

### **B.1. Flora**

- a) Árboles
- b) Arbustos
- c) Hierbas
- d) Cosechas
- e) Microflora
- f) Plantas acuáticas
- g) Especies en peligro
- h) Barreras, obstáculos

## **C. FACTORES CULTURALES**

### **C.1. Usos del territorio**

- a) Agricultura
- b) Zona residencial
- c) Zona comercial
- d) Zona industrial

### **C.2. Recreativos**

- a) Pesca
- b) Baño
- c) Camping

- d) Excursión
- e) Zonas de recreo

**C.3. Estéticos y de interés humano**

- a) Vistas panorámicas y paisajes
- b) Paisajes
- c) Desarmonías

**C.4. Nivel cultural**

- a) Salud y seguridad
- b) Empleo

**C.5. Servicios e infraestructura**

Eliminación de residuos sólidos

**D. RELACIONES ECOLÓGICAS**

- a) Eutrofización
- b) Vectores de enfermedades-insectos
- c) Invasión de malezas

***ACCIONES:***

**A. MODIFICACIÓN DE RÉGIMEN**

- a) Modificación de hábitats

- b) Alteración de la cobertura vegetal
- c) Regadío

**B. TRANSFORMACIÓN DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN**

- a) Tuberías
- b) Caminos vecinales

**C. ELIMINACIÓN Y TRATAMIENTO DE DESPERDICIOS**

- a) Descargas Líquidas
- b) Lagunas de oxidación y estabilización
- c) Vertido de desechos sólidos

## **CAPÍTULO III**

### **3.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

#### **3.1.1. Diseño experimental**

Como ya se planteó, el presente estudio se lo realizó en la ciudad de Guano, provincia de Chimborazo y, sus principales características también fueron descritas en el Capítulo anterior.

El diseño experimental se le realizó como sigue:

- Se procedió a calcular una muestra de viviendas, partiendo de la población de las mismas.
- Durante la primera y última semanas por tres meses seleccionados, se pesó y caracterizó en orgánicos biodegradables y no biodegradables diariamente durante los siete días, la basura que producen dichos hogares, para lo cual se les entregó fundas plásticas de dos colores diferentes, una de color negro para los orgánicos biodegradables y otra de color azul para los orgánicos no biodegradables, apropiadas al efecto.

La población generadora de RSU en la actualidad es de 7 471 personas y se proyecta en 13 513 a 20 años. Actualmente existen 1944 viviendas cubiertas por el sistema de recolección de basura, número que se tomará en cuenta como población para la determinación de la muestra en el cálculo de generación diaria de RSU. En la Fig. 3.1. se muestra el vertido de los RSU del vehículo recolector.



Fig. 3.1. Vehículo recolector descargando basura en el botadero a cielo abierto en las afueras de la ciudad de Guano.

- Con los datos anteriores y la población proyectada a 20 años se procedió a calcular el sistema de Relleno Sanitario.

### 3.1.2. Tamaño de la muestra

Empleando un nivel de confianza del 92 % ( $\alpha = 0,08$ ) y aplicando la ecuación del CIENES<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> CENTRO INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA DE SANTIAGO DE CHILE (CIENES). (1990).  
Ed. Del CIENES. Santiago de Chile.

$$n = \frac{PQ \times N}{(N-1) \frac{r^2}{K^2} + PQ}$$

$$n = \frac{0,25 \times 1944}{(1944-1) \frac{0,08^2}{2^2} + 0,25} = 145$$

$$n = 145$$

donde: n = tamaño de la muestra

PQ = cuantil de la población = 0,25

N = Tamaño de la población = 1944

r = Nivel de significación = 0,08

K = Constante de corrección del error = 2

El muestreo fue probabilístico, es decir, asignándole a cada vivienda de la población un número y escogiendo los números en una tabla de números aleatorios, de manera que todas tuvieron la misma probabilidad de ser seleccionadas para pertenecer a la muestra. Los datos obtenidos de cada vivienda se registraron en el formulario de encuestas de muestras recolectadas (ver anexo 2).

### **3.1.3. Plan de muestreo**

La Metodología Experimental de trabajo incluyó el siguiente plan de muestreo:

<div>SEMANA</div> <div>MES</div>	PRIMERA							CUARTA							
	PRIMERO	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>	M <sub>10</sub>	M <sub>11</sub>	M <sub>12</sub>	M <sub>13</sub>	M <sub>14</sub>
SEGUNDO	M <sub>15</sub>	M <sub>16</sub>	M <sub>17</sub>	M <sub>18</sub>	M <sub>19</sub>	M <sub>20</sub>	M <sub>21</sub>	M <sub>22</sub>	M <sub>23</sub>	M <sub>24</sub>	M <sub>25</sub>	M <sub>26</sub>	M <sub>27</sub>	M <sub>28</sub>	
TERCERO	M <sub>29</sub>	M <sub>30</sub>	M <sub>31</sub>	M <sub>32</sub>	M <sub>33</sub>	M <sub>34</sub>	M <sub>35</sub>	M <sub>36</sub>	M <sub>37</sub>	M <sub>38</sub>	M <sub>39</sub>	M <sub>40</sub>	M <sub>41</sub>	M <sub>42</sub>	
SUB TOTAL	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

M<sub>i</sub>: muestra iésima.

TOTAL DE MUESTRAS = 42 PARA CADA UNA DE LAS 145 VIVIENDAS = 6090

A cada muestra se le determinó el peso y la composición en orgánicos biodegradables y prácticamente no biodegradables, así como su contenido de vidrio y metales.

La forma en que se procedió en esta investigación estuvo sustentada en los datos recolectados en el estudio de campo:

### PROMEDIO DE LOS DATOS RECOLECTADOS

VIVIENDA No.	PRIMER MES (kg)			SEGUNDO MES (kg)			TERCER MES (kg)		
	BIOD.	NO BIOD.	TOTAL	BIOD.	NO BIOD.	TOTAL	BIOD.	NO BIOD.	TOTAL
VIVIENDAS QUINCENAL			2 509			2 555,50			2 562
VIVIENDAS MENSUAL			5 018			5 111			5 124
MERCADO MENSUAL	1 740	91,64	1 832	1 709	135,40	1 844	1 663	142,60	1 805
TOTAL			6 850			6 955			6 929
PROM. DIARIO			228			232			231



**Nota.-** La totalidad de los datos ver Anexo 1

### 3.2. CÁLCULOS DEL RELLENO SANITARIO

- Para el año 2020, se estima que la población de Guano será de 13 513 habitantes, mientras que en la actualidad es de 7 471 habitantes.

- $(145 \text{ viviendas}) \left( 5,7 \frac{\text{habitantes}}{\text{vivienda}} \right) = 826,5 \text{ habitantes en la muestra}$

- De los datos anteriores se estima:

- ☐ Primer mes = 6 850 kg
- ☐ Segundo mes: = 6 955 kg
- ☐ Tercer mes: = 6 929 kg

- Promedio mensual = 6 911 kg .

- Si  $W_{mes}$  = masa de RSU en kg/mes actualmente, entonces:

$$W_{mes} = \frac{(7471 \text{ hab.})(6911 \text{ kg})}{826,5 \text{ hab.}}$$

$$W_{mes} = 62\,471 \text{ kg/mes}$$

$$W' = (62\,471 \text{ kg/mes})(12 \text{ meses/año})(t/1000 \text{ kg})$$

$$W' = 749,65 \text{ t} \approx 750 \text{ al año cero (2003)}$$

- Para el año 2020, con 13 513 habitantes, se generarían:

$$\frac{13513 \text{ habitantes}}{7471 \text{ habitantes}} (62471 \text{ kg/mes}) = 112993 \text{ kg/mes al año 2020}$$

$$W' = (112\,993 \text{ kg/mes})(12 \text{ mes/año})(1000 \text{ t/kg}) \Rightarrow W' = 1\,356 \text{ t/año}$$

- Es necesario tener en cuenta el peso específico de los RSU. Según los pesos de RSU y sus correspondientes volúmenes medidos por desplazamiento de agua, el peso específico promedio (PE) de los mismos fue de  $312 \text{ kg/m}^3$ , lo cual está dentro del rango dado por Tchobanoglous, Theisen y Vigil<sup>7</sup>
- Como  $W' = 1\,356 \text{ t/año}$  y el  $PE = 312 \text{ kg/m}^3$ , entonces el volumen necesario de espacio de relleno al año 2020 ( $V_{\text{Relleno}}$ ) es:

$$V_{\text{Relleno}} = \frac{1356 \text{ t/año}}{312 \text{ kg/m}^3 (t/1000 \text{ kg})}$$

$$V_{\text{Relleno}} = 4\,346 \text{ m}^3/\text{año}$$

Si la profundidad del vertedero se condiciona en 10 m por razones de planificación y diseño, el área del terreno necesaria ( $A_{\text{Necesaria}}$ ) es:

$$A_{\text{Necesaria}} = \frac{4346 \text{ m}^3/\text{año}}{10 \text{ m}}$$

$$A_{\text{Necesaria}} = 435 \text{ m}^2/\text{año} \approx 0,0435 \text{ ha/año al año 2020}$$

---

<sup>7</sup> Ibid, Pág. 23

- Este valor deberá aumentarse en un 50 % para permitir la cobertura diaria, las vías, las áreas de recepción, el vallado, etc., por lo que el área necesaria para el año 2020 años ( $A_{2020}$ ) es:

$$A_{2020} = (0,0435 \text{ ha/año}) (1,5)$$

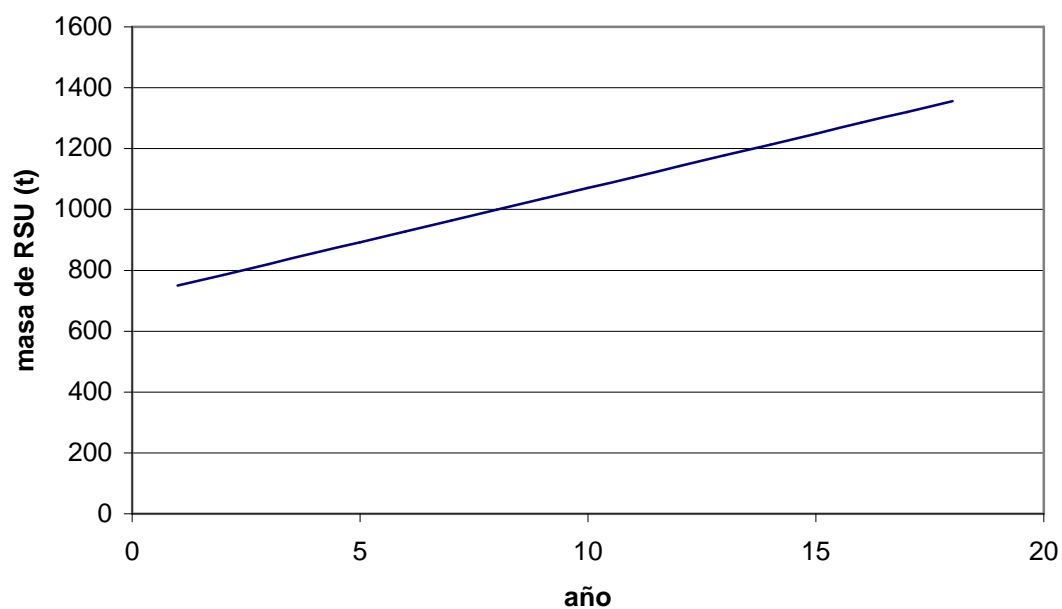
$$A_{2020} = 0,0652 \text{ ha}$$

De forma análoga a la empleada para calcular la masa generada de RSU, el volumen de suelo a excavar y área necesaria para el año 2003, se pueden determinar estos valores para cada año y obtener la suma total hasta el año 2020. Los resultados de dichos cálculos se muestran a continuación:

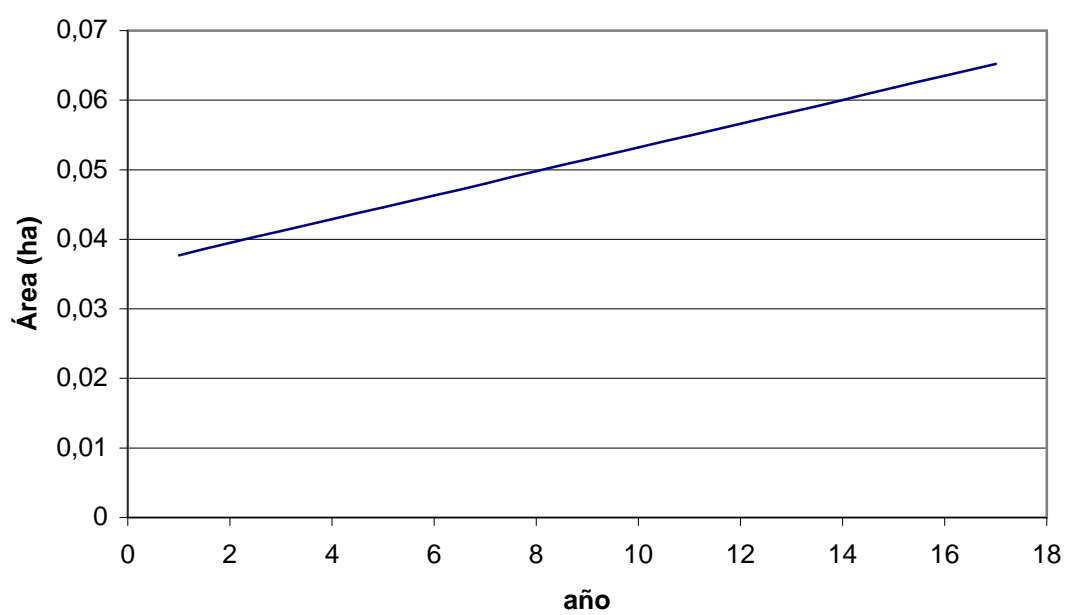
<b>AÑO No.</b>	<b>AÑO</b>	<b>POBLACIÓN (HAB)</b>	<b>RSU (t)</b>	<b>VOLUMEN DE SUELO NECESARIO PARA CADA AÑO (m<sup>3</sup>)</b>	<b>ÁREA NECESARIA PARA CADA AÑO (ha)</b>
0	2003	7 471	750	2 404	0,0361
1	2004	7826	785	2 516	0,0377
2	2005	8182	821	2 631	0,0395
3	2006	8537	857	2 747	0,0412
4	2007	8893	892	2 859	0,0429
5	2008	9248	928	2 974	0,0446
6	2009	9603	964	3 090	0,0463
7	2010	9959	999	3 202	0,0480
8	2011	10 314	1 035	3 317	0,0498
9	2012	10 669	1 071	3 433	0,0515
10	2013	11 025	1 106	3 545	0,0532
11	2014	11 380	1 142	3 660	0,0549
12	2015	11 736	1 178	3 776	0,0566
13	2016	12 091	1 213	3 888	0,0583
14	2017	12 446	1 249	4 003	0,0600
15	2018	12 802	1 285	4 119	0,0618
16	2019	13 157	1 320	4 231	0,0635
17	2020	13 513	1 356	4 346	0,0652
<b>TOTAL</b>			<b>18 954</b>	<b>56 392</b>	<b>0,8496</b>

<b>PROMEDIO ANUAL</b>	<b>1 053</b>	<b>3133</b>	<b>0,0472</b>
-----------------------	--------------	-------------	---------------

**Fig. 3.2. Comportamiento de las cantidades de RSU generados.**



**Fig. 3.3. Comportamiento del área de relleno requerida anualmente.**



- Según Emcom Associates<sup>20</sup> se producen de 30 a 60 L de CH<sub>4</sub> por kg de RSU húmedos. De acuerdo con estos datos, en el relleno sanitario diseñado se producirían entre:

$$\left(30 \frac{L}{kg}\right) \left(\frac{1 m^3}{1000 L}\right) \left(1\,053\,000 \frac{kg}{año}\right) = 31\,590 \, m^3 \, de \, CH_4 / año$$

y

$$\left(60 \frac{L}{kg}\right) \left(\frac{1 m^3}{1000 L}\right) \left(1\,053\,000 \frac{kg}{año}\right) = 63\,180 \, m^3 \, de \, CH_4 / año$$

Conclusiones sobre el diseño del relleno sanitario para la ciudad de Guano con vida útil hasta el año 2020:

CARACTERÍSTICA	ESTIMADO	CALCULADO
W' = Flujo másico de RSU al año 2020	_____	1 053 t/año
PE = Peso específico de los RSU	_____	312 kg/m <sup>3</sup>
h = Profundidad del relleno sanitario	10 m	_____
V <sub>relleno</sub> = Volumen promedio anual del espacio del relleno sanitario (teniendo en cuenta al PE de los RSU)	_____	3 133 m <sup>3</sup> promedio / año
A <sub>Necesaria</sub> = Área promedio anual necesaria del terreno del relleno (teniendo en cuenta al PE de los RSU)	_____	0,0472 ha promedio / año
A <sub>2020</sub> = Área total necesaria del terreno del relleno hasta el año 2020 (teniendo en cuenta al PE de los RSU y seguridades)	_____	0,8496 ha
Producción de metano por kg de RSU húmedos	30 a 60 litros de CH <sub>4</sub> /kg RSU húmedos	_____
Producción de metano	_____	De 31 590 a 63 180 m <sup>3</sup> (promedio anual)

<sup>20</sup> EMCOM ASSOCIATES. (1980). Methane Generation and Recovery from Landfills. Ann Arbor Science. Michigan.

### 3.3. PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

#### 3.3.1 Caudal

De acuerdo con el régimen de precipitaciones en la localidad, se estima que la máxima precipitación para el cantón Guano ocurre en el mes de abril y es de 104,5 mm. Si el área calculada del relleno sanitario es de 0,8496 ha al año 2020, el caudal máximo de lixiviados sería:

$$Q = 0,8496 \text{ ha} \times \frac{10^4 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}} \times 104,5 \frac{\text{mm}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ m}}{10^3 \text{ mm}} \times \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ d}}$$
$$Q = 2,43 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

#### 3.3.2 Diseño del proceso

Los siguientes valores pueden ser considerados para el diseño de una laguna anaerobia:  
SST 500 mg/l (valor característico para esta corriente líquida)

DBO<sub>5</sub> a 20 °C = 200 mg/l (para vertedero maduro, es decir, de más de 10 años)

Temperatura del líquido en invierno (mínima) = 3,6 °C

Temperatura del líquido en verano (máxima) = 28,3 °C

Constante global de eliminación de la DBO<sub>5</sub> de primer orden a 20 °C = 0,25 d<sup>-1</sup>

Coefficiente de temperatura = 1,06

Profundidad del estanque = 1,8 m (mínima permisible)

Factor de dispersión en el estanque = 0,5

Eficiencia global de eliminación de la DBO<sub>5</sub> = 90 %

DBO<sub>5</sub> del efluente = 200 – 0,9 x 200 = 20 mg/l

1. A partir de la Fig. 2.2, determinar el valor del término  $k t$  para un factor de dispersión de 0,5 y una eliminación del 90 % de la DBO<sub>5</sub>:

$$k t = 5$$

2. Determinar el coeficiente de temperatura para condiciones de invierno y verano:

a) Invierno:

$$k_{3,6} = (0,25 \text{ d}^{-1})[(1,06^{3,6-20})]$$

$$k_{3,6} = 0,096 \text{ d}^{-1}$$

b) Verano:

$$k_{28,3} = (0,25 \text{ d}^{-1})[(1,06^{28,3-20})]$$

$$k_{28,3} = 0,405 \text{ d}^{-1}$$

3. Determinar el tiempo de retención hidráulica para condiciones de invierno y verano:

a) Invierno:

$$(0,096 \text{ d}^{-1})t = 5$$

$$t = 52,08 \text{ d}$$

b) Verano:

$$(0,405 \text{ d}^{-1})t = 5$$

$$t = 12,35 \text{ d}$$

4. Determinar los volúmenes y superficies necesarias:

a) Invierno:

$$Volumen = 2,43 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 52,08 \text{ d}$$



$$Volumen = 127 \text{ m}^3$$

$$\text{Área} = \frac{127 \text{ m}^3}{1,8 \times 10^4 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}}}$$

$$\text{Área} = 0,0071 \text{ ha}$$

b) Verano:

$$Volumen = 2,43 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 12,35 \text{ d}$$

$$Volumen = 30 \text{ m}^3$$

$$\text{Área} = \frac{30 \text{ m}^3}{1,8 \times 10^4 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}}}$$

$$\text{Área} = 0,0017 \text{ ha}$$

Por lo tanto las condiciones de invierno son las que controlan el diseño.

5. Determinar la carga superficial:

$$\text{kg DBO}_5 / \text{ha} \cdot \text{d} = \frac{2,43 \text{ m}^3 / \text{d} \times 200 \text{ g} / \text{m}^3 \times 1 \text{ kg} / 1000 \text{ g}}{0,0071 \text{ ha}}$$

$$\text{kg DBO}_5 / \text{ha} \cdot \text{d} = 68$$

6. Determinar la potencia necesaria para los aireadores superficiales. Dos suposiciones que comúnmente se hace es que la capacidad de transferencia de oxígeno de los aireadores es el doble del valor de la carga de DBO<sub>5</sub> aplicada diariamente y que un aireador típico permite transferir 21,75 kg de O<sub>2</sub>/CV.d.

$$\text{kg de O}_2 \text{ demandados} = 2 \times 2,43 \text{ m}^3 / \text{d} \times 200 \text{ g} / \text{m}^3 \times 1 \text{ kg} / 1000 \text{ g}$$

$$kg \text{ de } O_2 \text{ demandado } s = 0,97 \text{ kg} / d$$

$$CV = \frac{0,97 \text{ kg} / d}{21,75 \text{ kg } O_2 / CV . d}$$

$$CV = 0,04$$

Por lo que con una unidad de 5 CV, o incluso más pequeña, trabajando intervalos de 12 minutos cada hora, transfiere suficiente oxígeno para este proceso, garantizándose también el mezclado.

### **3.4. LOCALIZACIÓN DEL BOTADERO ACTUAL A CIELO ABIERTO**

En el croquis de la ciudad de Guano que se muestra en la Figura 3.4 se aprecia la ubicación del actual botadero a cielo abierto localizado a unos 3 km de la ciudad, por la mitad del mismo atraviesa el canal de riego Chambo-Guano cuyas aguas se contaminan por la presencia de basura. También podemos apreciar el relleno sanitario a implementar, este último a un km de Vuelta Redonda.

Como es sabido, todo botadero a cielo abierto, e incluso sin la observación de las normas técnicas y de ubicación que estos deben tener, implica toda una serie de desventajas tanto de operación como ambientales, entre ellas se pueden citar las siguientes:

- a) Estética desfavorable.
- b) Continuos problemas de malos olores.
- c) Combustión de los residuos que provoca emisión de partículas sólidas a la atmósfera, con la consiguiente contaminación de la misma.
- d) Como el suelo destinado al botadero es la quebrada Langos, cierta cantidad de RSU, por efecto de la gravedad, va a parar áreas no destinadas al efecto y al río

Guano.

- e) Presencia de minadores de basura.

### **3.7. CONCLUSIONES**

1. En la actualidad, al año 2003, con los 7 471 habitante estimados, se generarán, al término del año, contando población y mercado, un total de 750 toneladas de basura lo que significa un volumen de tierra a excavar de 2 404 m<sup>3</sup> y un área de relleno de 0,0361 ha.
2. Al término del año 2020 se estima una generación, de 1 356 toneladas, lo que conlleva la excavación de 4 346 m<sup>3</sup> de tierra y un área de relleno de 0,0652 ha.
3. El total de RSU (población más mercado) generado en el tiempo de vida útil del relleno sanitario propuesto (del 2003 al 2020) se estima en 18 954 toneladas, para lo cual hay que excavar 56 392 m<sup>3</sup> de tierra, ocupando un área total de relleno de 0,8496 ha.
4. Los promedios anuales de generación de RSU, volumen a excavar y área de relleno a utilizar son de 1 053 toneladas, 3 133 m<sup>3</sup> y 0,0472 ha respectivamente.
5. El peso específico de los RSU calculado es de 312 kg/m<sup>3</sup>, valor que está dentro del rango dado por Tchobanoglous, Theisen y Vigil.

6. Según los criterios de Emcom Associates la generación de metano en el sistema oscila entre 31 590 y 63 180 m<sup>3</sup> anuales.
7. El diseño de una planta de tratamiento para los lixiviados del sistema de relleno sanitario, sobre la base de una laguna de oxidación aerobia-anaerobia, con un aireador superficial garantiza el suministro de oxígeno en la parte aerobia y el mezclado.
8. Según el régimen de lluvias, se calculó un caudal máximo de 2,43 m<sup>3</sup>/d, una DBO<sub>5</sub> de 200 mg/L (según la literatura especializada para rellenos de al menos 10 años de edad). El área del estanque calculada fue de 0,0071 ha (71 m<sup>2</sup>) con una profundidad de 1,8 m y, con un 90 % de eliminación de la DBO.
9. La Evaluación del Impacto Ambiental del estado actual de disposición de los RSU de la ciudad de Guano arrojó un puntaje total de -218, mientras se estima que una vez implementado el proyecto de relleno sanitario calculado, el puntaje de la EIA ascenderá hasta -45; lo cual implica una mejoría de la calidad ambiental del 79 %.

### **3.8. PROPUESTA DEL RELLENO SANITARIO A IMPLEMENTARSE**

#### **3.8.1. JUSTIFICACIÓN**

La presente propuesta consistente en el diseño del proceso de un sistema de relleno sanitario para el manejo y disposición final de los RSU de la ciudad de Guano se justifica al tener en cuenta lo siguiente:

- a) En la actualidad la basura de la ciudad se deposita en un botadero a cielo abierto, que en ocasiones combustiona contaminando los recursos aire y suelo y además, una parte de estos desechos siguen curso quebrada abajo y contamina las aguas del río Guano.
- b) Según las mediciones de la generación de Residuos Sólidos Urbanos en la ciudad y proyectada dicha generación al año 2020 según el crecimiento poblacional, el area necesaria para el proceso de residuos sólidos está dentro de los límites estipulados por la literatura especializada.
- c) Con la implementación de ésta propuesta mejorarían las condiciones de vida de la ciudadanía de la localidad

#### **3.8.2. OBJETIVO**

Proponer la implementación de un sistema de Residuos Sólidos previamente calculado, que propicie el manejo in-situ y la disposición final de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Guano, respetando las normas técnicas

ambientales.

### **3.8.3. SELECCIÓN DEL SITIO DE DISPOSICIÓN**

Las consideraciones técnicas y económicas relevantes se suman a las actitudes de la ciudadanía para el escogimiento del sitio para el relleno sanitario. Es importante enfatizar en el tiempo necesario para seleccionar un sitio. Si la municipalidad no se anticipa correctamente a los requerimientos de tiempo, puede dar lugar al cierre anticipado del botadero existente o la municipalidad podría verse forzada a almacenamiento o transporte costoso de desechos sólidos

#### *CONSIDERACIONES DEL SITIO*

Las consideraciones técnicas involucradas en seleccionar un sitio para relleno sanitario de desechos sólidos, alcanza a muchas disciplinas: planificación del uso del suelo, campos económicos, ingenieriles, sociales y políticos. Las mayores consideraciones técnicas y económicas que deben ser evaluadas en el proceso son:

- Tamaño y vida del sitio
- Topografía
- Agua Superficial
- Suelos y Geología
- Aguas Subterráneas
- Vegetación
- Sitios de acceso y transporte

- Usos del suelo
- Significado Histórico o arqueológico
- Susceptibilidad a inundaciones
- Control de seguridad
- Costos de capital y operación

### 3.8.4. PRESUPUESTO

Para determinar el costo aproximado del relleno sanitario en el cantón Guano se debe tomar en cuenta los siguientes rubros:

DETALLE	COSTO (USD)
- Costo del terreno 8496 m <sup>2</sup> x \$ 5,0/m <sup>2</sup>	42480
- Infraestructura Area construcción 150 m <sup>2</sup> ( medio baño, Bodega,y oficina 150 m <sup>2</sup> x \$ 100/m <sup>2</sup>	15000
- Cerramiento 266,66 m x \$60,0/m	15996
- Salarios/año empleados (2) \$ 326 x 2 = \$ 652/mes	7824
- Excavación de primera Celda Volumen 25 x 15 x 10 = 3750 m <sup>3</sup> 3750 m <sup>3</sup> x \$ 4,22/m <sup>3</sup>	15825
- Costo de báscula (Chronos Richardson) Capacidad 35000 Kg	36000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 133125</b>

### 3.8.5. COSTOS DE LA POSIBILIDAD DE DEPOSITAR RSU EN EL BOTADERO DE PORLON (RIOBAMBA)

DETALLE	COSTO (UDS)/MES
- Transporte de desechos/mes (62,5 T) \$ 20/semana x 4 semanas/mes	80,0
- Salarios trabajadores 3	922,0
- Depreciación del vehículo repuestos, llantas etc.	250,0
TOTAL	\$ 1252,0

Del estudio hecho como otra alternativa se podría pensar en transportar y depositar los residuos sólidos urbanos del cantón Guano en el botadero de Porlon de la ciudad de Riobamba, siempre y cuando haya una autorización de las autoridades respectivas.

### 3.8.6. LOCALIZACION

El futuro Relleno Sanitario a implementarse se encuentra ubicado al sur de la parroquia Santa Teresita aproximadamente a 1 Km de Vuelta Redonda por la vía que conduce a Ilapo no hay la presencia de casas cercanas, posee un área total de 0,8496 ha (8 496 m<sup>2</sup>) terreno en el cual se depositaría los RSU para un tiempo desde el año 2003 hasta el año 2020.



### **3.8.7. VENTAJAS**

- a) Poca inversión, ya que el municipio cuenta con un terreno a muy bajo costo.
- b) Para ciudades relativamente pequeñas es una alternativa económicamente viable
- c) Se puede poner en operación en corto tiempo.
- d) Recibe todo tipo de desechos sólidos, eliminándose con esto, la necesidad de recolecciones separadas.
- e) Es flexible, ya que puede disponer de cantidades mayores o menores de basura con poco personal o equipo adicional.
- f) Una vez terminado el proceso, el terreno se puede habilitar para diferentes usos (campos deportivos, estacionamientos, etc.)
- g) Reduce los efectos de contaminación al medio ambiente, a la salud y a la seguridad pública.

La planta de lixiviados se implementará en el extremo Suroeste del relleno sanitario, aprovechando la topografía del terreno en la acumulación de los lixiviados

### **3.8.8 RECOMENDACIÓN**

Se recomienda implementar en el cantón Guano el sistema de relleno sanitario propuesto con la correspondiente planta de tratamiento de los lixiviados y, la quema del biogás producido en el relleno en un flamer. Esto aumentaría la calidad ambiental de la localidad en un 79 %.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. KREITH, F. (1990). Integrated Solid Waste Management: Options for Legislative Action. Genium Publishing Corporation, págs 106-130 New York.
2. SELKE, S. E. (1990). Packaging and the Environment: Alternatives, Trends and Solutions. Technomic Publishing Company. Lanchester, PA, págs 260-285.
3. MORTENSEN, E. y KIELY G. (1999). Tratamiento de Residuos Sólidos. En Ingeniería Ambiental de Kiely G., Vol III, Ed. McGraw-Hill, págs 185-200 New York, USA
4. DURÁN, H. (1993). Políticas para la gestión ambientalmente adecuada de los residuos: el caso de los residuos sólidos urbanos e industriales en Chile a la luz de la experiencia internacional. CEPAL, págs 101-150 Santiago de Chile.
5. UNITED NATIONS ECONOMIC COMISIÓN FOR EUROPE. (1991). Elaboration of a regional strategy on integrated waste management. Economic and Social Council. UNECE. Stockholm, págs 255-280
6. TREJO R. (1996). Procesamiento de la Basura Urbana. Ed. Trillas, págs 305-315 México, D.F.
7. TCHOBANOGLOUS, G., THIESEN H. Y VIGIL, S. (1994). Gestión Integral de

Residuos Sólidos. Ed. McGraw-Hill, págs 328-352 New York, USA.

8. WAGNER, T. P. (1991). Hazardous Waste regulations, Ed. Van Nostrand Reinhold. 2da. Ed, págs 287-327 New York.
9. SALVATO, J. A. (1992). Environmental Engineering and Sanitation. Ed. Wiley-Interscience, 4<sup>th</sup> Ed, págs 187-217 New York.
10. MANTELL, M. T. (1975). Solid Wastes: Origin, Collection, Processing and Disposal. Ed. Wiley – Interscience, págs 306-327 New York.
11. TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H. y ELIASSEN, R. (1977). Solid Waste: Engineering Principles and Management Issues, Ed. McGraw-Hill, págs 165-200 New York.
12. DURÁN, H. (1993). Políticas para la gestión ambientalmente adecuada de los residuos: el caso de los residuos sólidos urbanos e industriales en Chile a la luz de la experiencia internacional. CEPAL, págs 355-395 Santiago de Chile.
13. KIELY, G. (1999). Ingeniería Ambiental. Ed. McGraw-Hill, págs 172-199 .Madrid.
14. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. (1995). Rellenos Sanitarios para la Disposición de Residuos Sólidos Urbanos, págs 333-351 México, D.F.

15. AHERNE, S. (1991). The control of waste operations in North Cork. Proceedings of First Irish Environmental Engineering Conference, University College Cork, Ireland, págs 260-287
16. PFEFFER, J., ISAACSON, R. (1993). Biochemical conversion of municipal solid waste: A technology status report. Gas Research Institute. Univ. de Illinois. Urbana, págs 344-366
17. THIRUMURTHI, D. (1969). Design of waste stabilization ponds. J. San. Div., ASCE, vol. 95, No. 42, págs 462-481 New York
18. CHRISTENSEN, T.H. y KJELDSSEN P. (1989). 2.1. Basic Biochemical Process in Landfills. En T.H. Christensen, R. Cossu y P. Stegmann (Eds): Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact, Academy Press, Harcourt Brace, Jovanavich, Londres, England págs 121-147
19. PAEZ, J.C. (1998). Introducción a la evaluación del impacto ambiental. CAAM. Págs 258-273 Quito.
20. ESTEVAN, M.T. (1984). Evaluación del Impacto Ambiental. Ed. Mundi-Prensa págs 306-316 Madrid.
21. EMCOM ASSOCIATES. (1980). Methane Generation and Recovery from

Landfills. Ann Arbor Science, págs 186-221 Michigan.

22. <http://www.profesorenlinea.cl/ecologiaambiente/Reciclaje.htm>

